

PRÄDIKTION MENSCHLICHER KÖRPERBEWEGUNGEN

OLIVER THOMAS HOLZNER

1986

Prädiktion menschlicher Körperbewegungen

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Philosophie
an der Ludwig-Maximilians-Universität
zu München

vorgelegt von
Oliver Thomas Holzner
aus
München

München 1986

Referent : PD Dr. G. Strube

Korreferent : Prof. Dr. W. Marx

Tag der mündlichen Prüfung : 24.2.1986

I N H A L T

	Seite
0. ZUSAMMENFASSUNG	1
1. ENTWICKLUNG EINES MODELLS (LASA II) ZUR PRÄDIKTION MENSCHLICHER KÖRPERBEWEGUNGEN	2
1.1. Durchsicht der Literatur im Hinblick auf Prädiktion menschlicher Körperbewegungen	2
1.1.1. Theorien motorischer Kontrolle	3
1.1.2. Biomechanische Theorien/Experimente	7
1.1.3. Beschreibungen menschlicher Körperbewegungen mit Hilfe von nichtlinearer Oszillationstheorie und Synergetik	12
1.2. Gewinnung des zur Überprüfung der vorzustellenden Modelle dienenden Datenmaterials	20
1.2.1. Gewinnung der Rohdaten	23
1.2.2. Verarbeitung der Rohdaten	27
1.3. Überprüfung existierender Prädiktionsmodelle	43
1.3.1. Semistochastische Modelle 1. Ordnung	43
1.3.2. Semistochastische Modelle höherer Ordnung	50

	Seite
1.4. Entwicklung und Überprüfung neuartiger Prädiktionsmodelle	55
1.4.1. Zyklenmodell	55
1.4.2. Kontrazyklenmodell	59
1.4.3. LASA I	62
1.4.4. LASA II	66
1.5. Weiterentwicklungen von LASA II	68
2. VERGLEICH ZWISCHEN MENSCHLICHEN PRÄDIKTIONEN MENSCHLICHER KÖRPERBEWEGUNGEN UND DIESBEZÜG- LICHEN PRÄDIKTIONEN MIT LASA II-VARIANTEN	77
2.1. Planung des Vergleichs unter Bezugnahme auf "radikale" Cognitive Science	77
2.2. Durchführung, Auswertung und Resultate des Vergleichs	85
3. SCHLUSSDISKUSSION	96
4. LITERATURVERZEICHNIS	100
ANHANG1: Bewegungsdaten in Auszügen	106
A.1.1. : Sequenz 10 auf D 2	106
A.1.2. : Sequenzen 1-12 auf D 5	123
ANHANG2: PASCAL - Programm für eine Reihe von LASA-Varianten	126

0. ZUSAMMENFASSUNG

- 1.) Die Entwicklung eines Modells (LASA II) zur Prädiktion menschlicher Körperbewegungen wird dargestellt.
- 2.) LASA II wird anhand von Daten aus einem "natürlichen Bewegungsumfeld" überprüft.
- 3.) Menschliche - und LASA II - Prädiktionen werden auf der Basis eines Teiles dieser Daten verglichen.
- 4.) Die Resultate dieses Vergleichs lassen sich als Beitrag zur Relativierung der Bedeutung der im Rahmen der "radikalen" Cognitive Science (u.a. Pylyshyn 1978a, Simon 1980) vorgenommenen gemeinsamen Einstufung von Menschen und entsprechend programmierten Rechnern als "intelligente Systeme" für die theoretische Psychologie betrachten.

1. ENTWICKLUNG EINES MODELLS (LASA II) ZUR PRÄDIKTION MENSCHLICHER KÖRPERBEWEGUNGEN

1.1. Durchsicht der Literatur im Hinblick auf Prädiktion menschlicher Körperbewegungen

Mit " menschlicher Körperbewegung " ist im Rahmen der vorliegenden Arbeit die Veränderung der Position eines menschlichen Körpers im dreidimensionalen Raum in bezug auf ein festzulegendes Koordinatensystem im Laufe eines Zeitintervalls gemeint.

" Position " steht hierbei für " Gesamtheit der zu einem Zeitpunkt bezüglich des Koordinatensystems von dem betrachteten menschlichen Körper eingenommenen (belegten, besetzten) Raumkuben ".

Eine " Prädiktion menschlicher Körperbewegungen " soll als eine Aussage darüber verstanden werden, welche Position ein menschlicher Körper/Körperteil zu einem Meßzeitpunkt t_1 (oder einer Reihe von unmittelbar aufeinanderfolgenden Meßzeitpunkten $t_1, t_{1+1}, \dots, t_{1+n}$) innehat, wobei diese Aussage lediglich auf t_1 zeitlich vorangehenden Messungen sowie explizit anzugebenden Zusatzinformationen (theoretische Vorkenntnissen etc.) basieren darf. Im folgenden kann auch eine Menge (Mehrzahl) derartiger Aussagen als " Prädiktion " bezeichnet werden.

Möglichkeiten und Grenzen der Prädiktion menschlicher Körperbewegungen bzw. von Beschreibungen, die derartige Prädiktionen gestatten, sollen in diesem Kapitel auf der Grundlage der zum Thema " menschliches motorisches Verhalten " in den letzten zwei Jahrzehnten erschienenen Veröffentlichungen erörtert werden.

Die Gesamtheit dieser Veröffentlichungen läßt im wesentlichen drei Forschungsrichtungen erkennen :

- Erforschung motorischer Kontrolle, weitestgehend von Psychologen vorangetrieben (siehe 1.1.1.)
- Biomechanische Forschung, hauptsächlich von Physikern, Ingenieuren und Medizinern initiiert (siehe 1.1.2.)
- Anwendung der mathematisch/physikalischen Gebiete " nichtlineare Oszillationstheorie " sowie " Synergetik " auf menschliche Körperbewegungen (siehe 1.1.3.)

Um den Umfang dieses Kapitels in vertretbaren Grenzen zu halten, soll auf die Darstellung von Artikeln, die keiner dieser drei Hauptforschungsrichtungen angehören und deren Bezug zu einer möglichen Prädiktion menschlicher Körperbewegungen nicht unmittelbar ersichtlich ist, verzichtet werden.

1.1.1. Theorien motorischer Kontrolle

Bis zum Ende der siebziger Jahre teilten sich die auf dem Gebiet der motorischen Kontrolle arbeitenden Wissenschaftler im wesentlichen in zwei Lager, das der Peripherialisten auf der einen und das der Zentralisten auf der anderen Seite.

Die Peripherialisten gingen davon aus, daß Bewegungen mit Hilfe von über die Sinnesorgane eingehendem Feedback kontrolliert würden, wobei z.B. nach Auffassung von Adams (Adams, Goetz & Marshall 1972 , Adams 1977) Bewegungen eingeleitet, das Feedback mit idealen Zielvorstellungen verglichen und anschließend Fehlerkorrekturen vorgenommen würden.

Dem entgegengesetzt war der Standpunkt der Zentralisten, daß Bewegungen mit Hilfe zentral gesteuerter Programme kontrolliert würden (Kelso 1977 , Rosenbaum 1980, Goodman & Kelso 1980). Bezüglich der Frage, was eigentlich programmiert würde, ergaben sich innerhalb der Gruppe der Zentralisten Differenzen, wobei gegen Ende der sieb-

ziger / zu Beginn der achtziger Jahre das sogenannte " Feder - Masse - Modell " (Mass - Spring - Model) die größte Anzahl an Befürwortern auf sich vereinen konnte. Das Feder - Masse - Modell geht davon aus, daß ein Gleichgewichtspunkt zwischen agonistischen und antagonistischen Muskeln programmiert wird (Asatryan & Fel'dman 1965).

Muskelgruppen werden hierbei als Systeme von schwingenden Federn betrachtet; eine Federschwingung kann mit Hilfe der Parameter " Masse ", " Steifheit " und " Dämpfung " beschrieben werden.

Mit " Masse " ist die Masse der schwingenden Feder gemeint, " Steifheit " ist irritierenderweise ein Maß für die Elastizität einer Feder (je größer die Elastizität, desto größer die Steifheit!), die Elastizität wiederum ist durch die Kraft bestimmt, die man benötigt, um die Feder ausgehend von ihrer Ruhelage um einen bestimmten Prozentsatz ihrer Ruhelänge auszudehnen (je größer diese benötigte Kraft, desto kleiner die Elastizität). " Dämpfung " schließlich ist ein Maß für die Zeit, die eine um einen bestimmten Prozentsatz ihrer Ruhelänge ausgedehnte Feder benötigt, um die durch die Ausdehnung hervorgerufenen Schwingungen zu beenden und endgültig in ihre Ruhelage zurückzukehren (je kürzer diese Zeit, desto größer die Dämpfung).

Dieser endgültigen Rückkehr in die Ruhelage bei einer Feder entspricht bei einem System von Federn das Erreichen eines durch die oben erwähnten drei Parameter jeder einzelnen am System beteiligten Feder bestimmten Gleichgewichtspunktes.

Die Tatsache des Erreichens dieses Gleichgewichtspunktes ist unabhängig von der Anfangssituation (Auslenkung der Federn), was sich bei der Anwendung auf

Muskelgruppen dahingehend äußert, daß unabhängig von der Ausgangsstellung eines Gliedes die vermittels des Gleichgewichtspunktes programmierte Endstellung erreicht wird (" Prinzip der Equifinalität "), woran sowohl Beeinträchtigung der Afferenzen des sich bewegenden Individuums, als auch kurze Störungen der Bewegung (durch vorübergehendes Belasten des bewegten Gliedes mit Gewichten) nichts ändern (Kelso & Holt 1980).

Ebenfalls zu Beginn der achtziger Jahre begann sich die Auffassung durchzusetzen, daß die Gegensätze zwischen Peripheralisten und Zentralisten nicht unüberbrückbar wären und daß es von Fall zu Fall verschieden sein könnte, welche Art der Kontrolle ausgeübt würde. Schmidt (1980) zusammenfassend, läßt sich folgende Einteilung vornehmen :

Tabelle 1 Unterschiedliche Anwendungsbereiche für motorische Programme und Feedback

Motorische Programme	Feedback
bei schnellen Bewegungen	bei langsamen Bewegungen
bei niedrigem Aufmerksamkeitsniveau	bei hohem Aufmerksamkeitsniveau
bei niedrigem Risiko	bei hohem Risiko
bei niedrigen Anforderungen an die Genauigkeit	bei hohen Anforderungen an die Genauigkeit

Die Theorien motorischer Kontrolle haben im wesentlichen zu zwei Arten von Prädiktionen geführt :

- 1.) Vorhersagen über die Genauigkeit der Reproduktion der Bewegungen eines Gliedes, z.B. eines Fingers, unter erschwerenden Bedingungen (z.B. teilweise Deafferenzierung, Kelso 1977) sowie bei Störungen (z.B. plötzliche Belastung durch Gewichte, Kelso & Holt 1980) mit Vorhersagen über die Genauigkeit einfacher Bewegungen (Zeigebewegungen mit einem Zeigefinger, Hay, Brouchon-Viton & Rabattu 1976 sowie Conti & Beaubaton 1976) bei verminderter visueller Rückkopplung.
- 2.) Vorhersagen über Reaktionszeiten für einfache Bewegungen (Drücken verschiedener Knöpfe mit Hilfe einer Arm-Hand-Finger-Bewegung), die durch ein Signal ausgelöst wurden, wobei vor dem Auslösen des Signals der Versuchsperson verschiedenste Informationen über die zu vollziehende Bewegung gegeben wurden (Rosenbaum 1980).

Die genannten Arbeiten stehen in engem Zusammenhang zu Fragen der theoretischen Psychologie; Kelso (1977), Hay, Brouchon-Viton & Rabattu (1976) sowie Conti & Beaubaton (1976) tragen zur Klärung der Peripheralismus-Zentralismus-Frage bei, Rosenbaum (1980) zur Lösung des Problems, welche Informationen programmiert werden und in welcher Weise das geschieht (seriell oder parallel etc.), Kelso und Holt (1980) ist ebenfalls im Rahmen der zentralistischen Frage nach der Art der programmierten Informationen zu betrachten.

Der Vorzug dieser engen Beziehung zu psychologischen Konzepten und Theorien bringt es andererseits mit sich, daß Prädiktionen hauptsächlich auf Bestätigung/Einschränkung/Verwerfung dieser Theorien ausgerichtet sind, und diese Bestätigung/Einschränkung/Verwerfung mit möglichst einfachen Mitteln erzielt werden soll. Dementsprechend beziehen sich die Vorhersagen auch lediglich

auf einfache Bewegungen jeweils eines Gliedes unter einschränkenden Versuchsbedingungen. Infolgedessen kann es als Fazit dieses Abschnitts im Hinblick auf die Prädiktion menschlicher Körperbewegungen betrachtet werden, daß der enge Zusammenhang der vorgestellten Modelle mit psychologischen Konzepten (" Motorische Programme " etc.) mit geringer Generalität von Versuchsbedingungen und Prädiktionen einherzugehen scheint.

1.1.1. Biomechanische Theorien/Experimente

Als "biomechanische Theorien" sollen im Rahmen der vorliegenden Arbeit Theorien bezeichnet werden, die sich mit menschlichen Körperbewegungen auf der Grundlage der physikalischen Disziplin " Dynamik " auseinandersetzen. Diese Disziplin soll im folgenden durch " Bewegungsmechanik " bezeichnet werden, um Verwechslungen mit der Verwendung des Begriffs " dynamisch " in der modernen Physik zu vermeiden.

Die Bewegungsmechanik ist nämlich ein Musterbeispiel für den " klassischen " Standpunkt der Prädiktion: Vorhersagen werden mit Hilfe von a priori-Gesetzmäßigkeiten (z.B. " $v = s/t$ " u.ä.) durch Einsetzen von zu Versuchsbeginn zu ermittelnden Parametern erstellt (ein Beispiel hierfür siehe Tabelle 2).

Eine " klassische Vorhersage " läßt sich also bei Kenntnis der eine Bewegung beschreibenden Gleichungen aus zu Beginn des Versuchs (Zeitpunkt t_0) zu ermittelnden Größen für alle folgenden Zeitpunkte (t_1 , t_2 , ...) tätigen.

Klassische Vorhersagen von Prozessen, in denen die Ordnung eines Systems zunimmt, führen im allgemeinen nicht zu sinnvollen Resultaten. (Im Rahmen der vorliegenden Arbeit ist ausreichend, " Ordnung " als durch den umgangssprachlichen Gebrauch definiert zu betrachten.) Beispiele für derartige Prozesse sind etwa die Magnetisierung eines Eisenstücks (Ausrichtung der Elementarmagnete) oder auch die Bildung von Wolkenstraßen (Haken, 1982).

Tabelle 2

Zur Beschreibung menschlichen Gehens
in Onyshko & Winter (1980, S.366,
Übersetzung O.Holzner) benötigte Para-
meter

"Distanz Ferse - Knöchel
Distanz Ferse - Körperschwerpunkt
Distanz Knöchel - Körperschwerpunkt
Masse des Fußes
Trägheitsmoment des Fußes bzgl. des Körperschwerpunkts
Winkel zwischen Fußsohle und Knöchel, am Zeh gemessen
Winkel zwischen Fußsohle und Knöchel, an der Ferse gemessen
Distanz Knöchel - Schwerpunkt des Unterschenkels
Distanz Knie - Schwerpunkt des Unterschenkels
Masse des Unterschenkels
Trägheitsmoment des Unterschenkels bzgl. des Körperschwerpunkts
Distanz Knie - Schwerpunkt des Oberschenkels
Distanz Hüfte - Schwerpunkt des Oberschenkels
Masse des Oberschenkels
Trägheitsmoment des Oberschenkels bzgl. des Körperschwerpunkts
Distanz Hüfte - Schwerpunkt von Rumpf, Armen und Kopf (RAK)
RAK - Masse
RAK - Trägheitsmoment bzgl. des Körperschwerpunkts
Gesamtkörpermasse
'Federkonstante' der Hüfte
Dämpfungskoeffizient der Hüfte
Gravitationskonstante

Die " dynamische Vorhersage " eines Prozesses ab einem Zeitpunkt t_1 ist dadurch gekennzeichnet, daß sie nicht ohne Kenntnis des Prozeßverlaufs bis unmittelbar vor t_1 , also bis t_{1-1} , erfolgen kann (geschweige denn a priori). Diese Unbequemlichkeit (im Vergleich zur klassischen Prädiktion) wird dadurch kompensiert, daß zusätzlich zu allen Prozessen, die klassisch vorhergesagt werden können, auch Aussagen über Prozesse erfolgen können, die mit einer Zunahme an Ordnung verbunden sind. (Es ist nicht auszuschließen, daß zumindest einige menschliche Bewegungen zumindest zeitweilig zu letzterer Art von Prozessen gezählt werden können.)

Zu den Gemeinsamkeiten der biomechanischen Arbeiten zählen:

- 1.) Theoretische Restriktionen wie ausschließliche Verwendung von Differentialgleichungen zur Modellierung von Positionsveränderungen menschlicher Körper bzw. Körperteile und von Körper/Körperteilen in Segmente, deren Anzahl zwischen 7 (Onyshko & Winter 1980) und 15 (Aleshinsky & Zatsiorsky 1978) liegt. (Diese a-priori-Einteilung in feste Segmente wird deshalb vorgenommen, um die Anzahl der Freiheitsgrade bei der Beschreibung der Bewegungen des Menschen möglichst klein zu halten und damit die Anzahl der Parameter in den die Bewegungen beschreibenden Differentialgleichungen.)
- 2.) Hoher Rechenaufwand aufgrund der Notwendigkeit, Systeme von Differentialgleichungen zu lösen; dieser Rechenaufwand nimmt mit steigender Parameterzahl zu, was zur Folge hat, daß Verfeinerungen von a-priori-Segmentmodellen des

menschlichen Körpers durch Erhöhen der Anzahl der Segmente aus Gründen der Rechnerkapazität schnell auf Grenzen stoßen

- 3.) Beträchtliche praktische Restriktionen in bezug auf die Art der untersuchten Bewegung bzw. Bewegungen (siehe Tabelle 3), in Bezug auf Versuchsbedingungen (siehe Tabelle 4) und durch ausschließliche Untersuchung der Bewegungen von Körperteilen (siehe Tabelle 5); hier sei angemerkt, daß letztere Beschränkung natürlich ein Anwachsen der Detailgenauigkeit der Beschreibung impliziert

Tabelle 3

Untersuchte Bewegungsarten und intendierte praktische Bedeutung der jeweiligen Untersuchungen

Autoren	Jahr	Bewegungsart	praktische Bedeutung
ORNE & LIU	1971	vertikaler Aufprall	Flugzeugunfälle
MCKENZIE & WILLIAMS	1971	horizontaler Aufprall	Autounfälle
WATERS, MORRIS & PERRY	1973	Gehen	Rehabilitation (?)
SHOUP, FLETCHER & MERRILL	1974	Fortbewegung auf Krücken	Rehabilitation
BEDI & COOPER	1977	Weitsprung	Sport
ALESHINSKY & ZATSIORSKY	1978	Gehen, Laufen, Rennen	Sport
ONYSHKO & WINTER	1980	Gehen	Sport und Rehabilitation

Tabelle 4

Beispiele für untersuchte Körperteile

Autoren	Jahr	Körperteil
ASATRYAN & FEL'DMAN	1965	Unterarm
ORNE & LIU	1971	Wirbelsäule
MCKENZIE & WILLIAMS	1971	Wirbelsäule und Kopf
WATERS, MORRIS & PERRY	1973	Kopf und Rumpf
BLACHARSKI, SOMERSET & MURRAY	1975	Knie

Tabelle 5

Beispiele für restriktive Versuchsbedingungen

Autoren	Jahr	Versuchsbedingungen
ASATRYAN & FEL'DMAN	1965	Der Unterarm der VP wird auf einer Schiene festgeschnallt und diese Schiene Kräften ausgesetzt
WINTER et al.	1974	Die VP geht, mit Reflektoren, Elektroden & Drähten (Telemetrie) behangen durch ein TV-Labor
BLACHARSKI, SOMERSET & MURRAY	1975	Menschlichen Knien (Leichenteilen) werden wahlweise 0,1 oder 2 Kreuzbänder durchschnitten und anschließend mit Hilfe eines Motors in Bewegung versetzt.

- 4.) Hohe Vorhersagepräzision durch klassische Prädiktion mit Hilfe von Systemen von Differentialgleichungen unter Zugrundelegung von medizinisch-biologisch-physikalischen Parametern (siehe Tab. 2). Die Annahme ist naheliegend, daß die Anwendbarkeit der klassischen Prädiktion durch die unter 1.) und 3.) beschriebenen Restriktionen zumindest begünstigt worden ist.

Als Fazit dieses Abschnitts läßt sich anführen, daß der Detailgenauigkeit und Vorhersagepräzision biomechanischer Arbeiten über menschliche Körperbewegungen ein Mangel an Generalität bei Versuchsbedingungen und Versuchsgegenstand sowie ein Mangel an Flexibilität bei den zugrundegelegten Modellen (feste a-priori-Segmentaufteilung mit nur geringen Verfeinerungsmöglichkeiten) gegenüberstehen.

1.1.3. Beschreibung menschlicher Körperbewegungen mit Hilfe von nichtlinearer Oszillationstheorie und Synergetik

In den frühen achtziger Jahren versuchten Kelso und seine Mitarbeiter (Kelso, Holt, Rubin & Kugler 1981, Kelso, Putnam & Goodman 1983) ausgehend vom Feder-Masse-Modell (siehe 1.1.1.), das die Bewegungen eines Gliedes mit Hilfe eines Systems von Oszillatoren (" Federn ") beschrieb, die koordinierten Bewegungen mehrerer Gliedmaßen zu modellieren. Die Vorhersagen des Feder-Masse-Modells waren jedoch mit dem durch Kelso et al. (1981,1983) unter restriktiven Versuchsbedingungen (die Versuchspersonen saßen in einem Zahnarztstuhl und bewegten nur ihre Finger) gesammelten Datenmaterial über koordinierte Bewegungen von Fingern verschiedener Hände nicht in Einklang zu bringen.

Unter Zuhilfenahme der Theorie nichtlinearer Oszillationen (Winfree, 1980) sowie einer Idee Bernsteins (u.a. Bernstein 1975), der sogenannten " funktionalen Synergie ", eines flexiblen, aufgabenorientierten Zusammenwirkens von Muskeln, sollte ein zufriedenstellendes Modell konstruiert werden. (Die Betrachtung funktionaler Synergien an Stelle einzelner Muskeln führt ebenso wie die unter 1.1.2. angesprochene a-priori-Aufteilung des menschlichen Körpers in Segmente zu einer drastischen Herabsetzung der bei einer Bewegung des Menschen zu berücksichtigenden Freiheitsgrade, funktionale Synergien wirken jedoch auf Grund ihres flexiblen Charakters weniger artifiziell.)

Die Theorie nichtlinearer Oszillationen beschäftigt sich mit dem Zusammenwirken von durch Differentialgleichungen zu beschreibenden physikalischen/chemischen/biologischen Prozessen (" Oszillationen "), wobei diese Differentialgleichungen nicht die folgende einfache (" lineare ") Gestalt haben dürfen :

$$\dot{x} = A(t)x + b(t) \quad (\text{Walter 1972})$$

("x" ist beispielsweise die Position eines menschlichen Körpers im dreidimensionalen Raum,

" $\dot{x}$ " die Ableitung von x nach der Zeit,

"A(t)" eine nur von der Zeit t abhängige 3mal3-Matrix,

"b(t)" ein nur von t abhängiger dreielementiger Vektor)

Systeme nichtlinearer Oszillatoren haben einige bemerkenswerte Eigenschaften, z.B.:

- 1.) Ihr Verhalten ist nicht klassisch, sondern nur dynamisch vorhersagbar (Definitionen siehe 1.1.2.)
- 2.) Ihr Verhalten stabilisiert sich in Zyklen, den sogenannten "Grenzzyklen", bei Störungen trachten sie danach, möglichst schnell in einen derartigen Grenzzyklus zurückzukehren (ohne auf die Theorie nichtlinearer Oszillationen zurückzugreifen, wird bei der Erörterung der Arbeit von Haken, Kelso & Bunz (1985) am Ende dieses Abschnitts ein Beispiel für dieses Phänomen gegeben werden)

3.) Gekoppelte nichtlineare Oszillatoren synchronisieren sich automatisch.

Beispiel : Huygens, 17. Jahrhundert, entnommen aus Kelso et al. 1981, S.234/235 : Zwei mechanische Uhren, deren Schwingungen außer Phase waren, die also nicht gleichzeitig tickten, wurden gemeinsam auf ein Holzbrett gestellt und synchronisierten sich innerhalb kurzer Zeit, dh. sie tickten dann gleichzeitig.

In diesem Beispiel sorgt das Holzbrett durch Übertragung der Schwingungen für die Koppelung, wodurch diese Koppelung in anderen Fällen entsteht und wie sie mathematisch zu beschreiben ist, ist nicht völlig geklärt.

Bedauerlicherweise schien sich beim Versuch, die Theorie nichtlinearer Oszillationen zur Beschreibung menschlicher Körperbewegungen heranzuziehen, wobei man jeden an einer funktionalen Synergie beteiligten Muskel als einen nichtlinearen Oszillator betrachten könnte, eine gewisse konzeptuelle Verwirrung eingeschlichen zu haben :

1.) Kelso et al. (1981,S.232) :

"...groups of muscles, functioning as a unit..." entsprechen einem "...non-linear oscillatory system..."

2.) Kelso et al. (1983,S.372) :

"...unit...of muscle-joint ensembles..." entspricht einem "...non-linear oscillatory system..."

3.) Kelso et al. (1983,S.371) :

Ein "...muscle-joint ensemble..." entspricht einem "...non-linear oscillatory system..."

4.) Kelso et al. (1983,S.347) :

"...limbs..." entsprechen "...non-linear oscillators..."

5.) Kelso et al. (1983,S.371) :

"In identifying the behaviour of muscle collectives with autonomous nonlinear oscillators..."

(Oszillatoren heißen autonom, wenn sie nicht gekoppelt sind, wie die Synchronisierung autonomer Oszillatoren vor sich gehen soll, sei dahingestellt.)

Die soeben geschilderten Unklarheiten verloren durch die in Haken, Kelso & Bunz (1985) vollzogene Ablösung der nichtlinearen Oszillationstheorie als Methode zur Beschreibung menschlicher Körperbewegungen durch Synergetik (u.a. Haken 1982) an Bedeutung.

Synergetik weist starke Verbindungen zur Physik lebender Systeme (u.a. Prigogine 1981) auf und dient heute zur Modellierung beliebiger Prozesse, bei denen sich Materie selbst organisiert, die Ordnung eines Systems also zunimmt (von der Entstehung von Eisblumen bis zu der von Gesellschaften) .

Synergetik beschreibt das Verhalten eines komplexen Systems durch jeweils eine Gleichung für jeden Einzelbestandteil des Systems sowie einer "Koppelungsgleichung", die die Beziehungen der Einzelbestandteile zueinander ausdrückt, wobei jede Gleichung für jeden Einzelbestandteil wiederum von der Koppelungsgleichung abhängt. (Es ist demzufolge eine Wechselbeziehung zwischen Einzelbestandteilen und Gesamtsystem gegeben.)

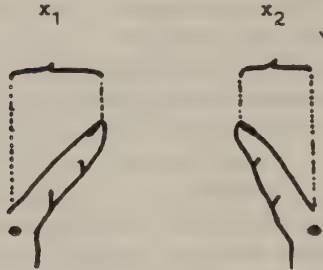
Ist die Koppelungsgleichung nichtlinear, so treten die gleichen Effekte wie bei einem System nichtlinearer gekoppelter Oszillatoren auf :

- 1.) Es ist nur dynamische Vorhersage des Systemverhaltens möglich.
- 2.) Das Verhalten des Systems stabilisiert sich in Grenzzyklen.
- 3.) Drastische Reduktion der Freiheitsgrade des Gesamtsystems

Es erscheint geraten, den Versuch zu unternehmen, die über Synergetik aufgestellten Behauptungen an einem die Beschreibung menschlicher Körperbewegungen betreffenden Beispiel zu verdeutlichen :

In der Arbeit von Haken, Kelso & Bunz (1985) wurde die Koordination von eindimensionalen Bewegungen beider Zeigefinger untersucht.

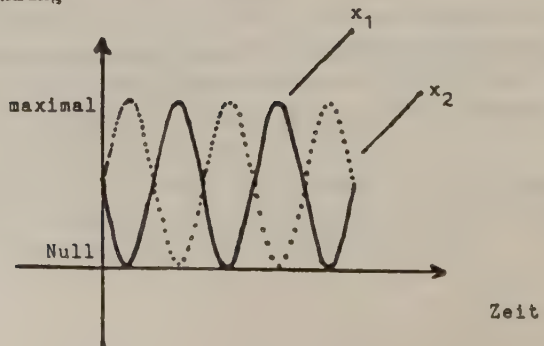
Abb. 1 Auslenkung der Zeigefinger



Hierbei wurden die Versuchspersonen zunächst zu einer mehrfachen Wiederholung langsamer abwechselnder Auslenkung beider Finger aufgefordert; es ergab sich etwa folgende Kurve :

Abb. 2 antisymmetrische niederfrequente Bewegung

Auslenkung

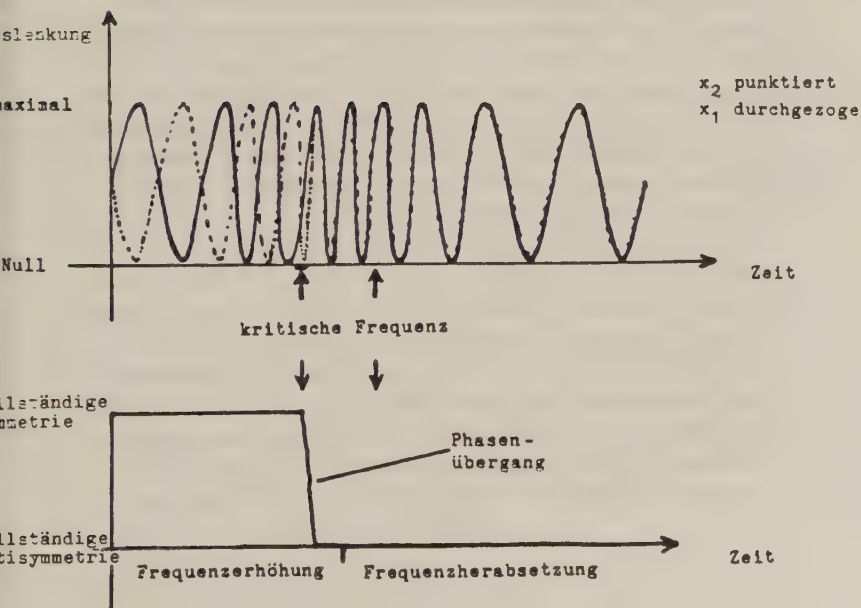


(Antisymmetrische Fingerbewegungen stellen einen von zwei bei dieser Versuchsanordnung möglichen Grenzzyklen dar, der andere ist durch "synchrone", dh. symmetrische Fingerbewegungen gegeben. Art und Anzahl der Grenzzyklen lassen sich in den das System beschreibenden Differentialgleichungen erkennen.)

Verbal wurden die Versuchspersonen zu einer fortschreitenden Frequenzerhöhung aufgefordert, wobei bei Erreichen einer individuell unterschiedlichen "kritischen" Frequenz ein abrupter Übergang in den anderen Grenzzyklus stattfand ("phase transition").

Nachdem der zweite Grenzzyklus (symmetrische Fingerbewegungen) erreicht war, wurde damit begonnen, die Frequenz wieder herabzusetzen, und zwar bis unter die jeweilige kritische Frequenz, die Bewegung verblieb jedoch im zweiten Grenzzyklus.

Abb. 3 Gesamtprozeß



Die Fingerbewegungen lassen sich nicht mehr klassisch, sondern nur noch dynamisch vorhersagen, da beim Wechsel von Phasenübergang zu zweitem Grenzzyklus eine Zunahme an Ordnung stattfindet. Auf die Angabe der mathematischen Übergangsbeschreibung sowie der nichtlinearen Koppelungsgleichung wird verzichtet, da die betreffenden Formeln für das Verständnis der vorliegenden Arbeit entbehrlich sind und überdies der hier praktizierten Beschränkung auf einfache und leicht verständliche Mathematik widersprüche.

So elegant und präzise die explizite Angabe von Koppelungsgleichungen u.ä. sowie den sich daraus ergebenden Vorhersagen auch sein mag, der Nachteil der Anwendung der Synergetik auf die Beschreibung menschlicher Körperbewegungen ist wohl darin zu sehen, daß jeglicher Zusammenhang zu psychologischen Theorien und Konzepten fehlt (ebenso zu physiologischen Theorien und Konzepten, hierzu Haken et al. (1985, S.355) : "... the physiological underpinnings of such nonlinearities remain an open issue."). Aus psychologischer Sicht läßt sich deshalb der Ansatz von Haken et al. als "atheoretisch" bezeichnen, vorläufiges Endprodukt einer Entwicklung, die von der Überprüfung psychologischer Theorien (Zentralismus-Peripheralismus) zu immer stärker von der Physik beeinflussten Modellen geführt hat (Feder-Masse-Modell, Systeme nichtlinearer Oszillatoren).

Die Synergetik als "atheoretisches Modell zur Vorhersage menschlicher Körperbewegungen" ist in der Praxis lediglich anhand einfachster Bewegungen getestet worden (ebenso wie biomechanische Modelle, das Feder-Masse-Modell und das nichtlineare Oszillationsmodell), die betreffenden Versuche wurden, wie in 1.1. vielfach dargestellt, stets im Labor unter stark restriktiven Bedingungen durchgeführt. Deutlich zu bemerken ist das Fehlen von Versuchen, menschliche Körperbewegungen

unter möglichst natürlichen Bedingungen zu messen und Modelle mit daraus resultierenden Prädiktionen anhand solchermaßen gewonnenen Datenmaterials zu überprüfen. (Unter "natürlichen Bedingungen" soll hier verstanden werden, daß Messungen ohne Beeinträchtigung der Beweglichkeit der Versuchspersonen in einer für die Versuchspersonen gewöhnungsfähigen Umgebung ohne Verwendung von die Versuchspersonen stark ablenkenden Meßapparaturen und unter Verzicht auf in den Augen der Versuchspersonen absurden oder unangenehmen Bewegungen stattfinden.)

Im folgenden soll versucht werden, ohne sich der Entwicklung in der Bewegungsforschung durch den Versuch einer Rückkehr zu im engeren Sinne "psychologischen" Modellen entgegenzustellen, die gerade dargestellte Lücke der Beschreibung und Prädiktion von menschlichen Körperbewegungen unter natürlichen Bedingungen zu schließen. Der Wunsch, vorliegende Untersuchungen durch die Betrachtung leicht modifizierter Fragestellungen zu ergänzen, wirkt sich auch bei der Auswahl der zu beobachtenden Bewegungen aus, hier sollen in Ergänzung zu den vorwiegend "feinmotorischen" Untersuchungen der letzten Jahre (Kelso, Holt, Rubin & Kugler 1981, Kelso, Putnam & Goodman 1983, Haken, Kelso & Bunz 1985) "grobmotorische" Körperbewegungen betrachtet werden, näheres hierzu ist in 1.2.1. zu finden.

1.2. Gewinnung des zur Überprüfung des vorzustellenden Modells dienenden Datenmaterials

Die eingangs der vorliegenden Arbeit gegebene Definition menschlicher Körperbewegungen als Positionsveränderungen im dreidimensionalen Raum führt direkt zur Frage, wie diese Positionsveränderungen zu messen sind und welche Meßmethode unter Berücksichtigung der folgenden drei Gesichtspunkte gewählt werden kann:

- 1.) Gewährleistung von " natürlichen Bedingungen " bei der Bewegungsmessung (siehe 1.1.3.)
- 2.) Möglichkeit der automatischen Datenauswertung
- 3.) Verfügbarkeit bzw. Kosten der Mess- und Auswertungsapparatur

Nichtoptische Messmethoden sollen am Beispiel der Akzele-rometrie (Morris 1973) diskutiert werden; bei diesem Ver-fahren werden Beschleunigungsmessinstrumente am Körper der Versuchsperson befestigt. Der Vorteil dieser Methode liegt in der Feststellung der Veränderungen für biomecha-nische Bewegungstheorien relevanter Meßwerte (in ähnli-cher Weise können Kräfte, Muskelaktivitäten und vieles andere ermittelt werden. Inwieweit aus diesen Daten die Position des gesamten Körpers errechnet werden kann, sei dahingestellt). Nachteile sind die aufwendige Technik, die zur Messung und Auswertung der Daten notwendig ist, sowie die Behinderung, die die Versuchsperson durch das Mitführen der Instrumente erfährt, ganz zu schweigen von der ausgeprägten Laborsituation. Im Sinne der in 1.1.3. gesteckten Ziele ("natürliche Bewegungssituation") ist es deshalb notwendig, die Suche nach geeigneten Möglich-keiten zur Erfassung menschlicher Körperbewegungen auf optische Meßmethoden auszudehnen, die in Unkenntnis der aufnahmetechnischen Einzelheiten durchwegs als "Filmauf-nahmen" bezeichnet werden sollen.

Hier boten sich zum Zeitpunkt der Planung der Datengewinnung (1982) zwei Alternativen an , nämlich Aufnahmen mit und ohne automatischer Positionsauswertung. Bei Filmaufnahmen mit der Möglichkeit einer automatischen Feststellung der Position der Versuchsperson auf jedem Bild wurden zur Beschaffung zweidimensionaler Bewegungsdaten die Versuchspersonen mit Reflektoren behängt und von einer Kamera gefilmt (Winter et al. 1974) bzw. zur Messung dreidimensionaler Bewegungsdaten mit Markierungsstreifen beklebt und von drei Kameras gefilmt (Taylor, Mottier, Simmons, Cohen, Pavlak jr., Cornell & Hankins 1982). In beiden Fällen konnten die Bewegungen der Versuchspersonen (repräsentiert durch Sequenzen von Bildern, auf denen die Reflektoren bzw. die Markierungsstreifen zu sehen waren) direkt in einen Rechner übertragen werden, was im Vergleich zu manueller Auswertung monatelange Arbeit erspart; die Künstlichkeit beider vorgestellter Verfahren sowie ihr erheblicher technischer Aufwand mit den dadurch implizierten Kosten führten dennoch zu einer Entscheidung zugunsten manueller Auswertung.

(An dieser Stelle sei angemerkt, daß Fraktionierungsprobleme u.ä. bei Filmaufnahmen wegen der festen Bildgeschwindigkeit (= Zahl der Bilder pro Sekunde) unberücksichtigt bleiben können.)

Im Anschluß an die Entscheidung zugunsten manueller Auswertung blieb nur noch die Frage offen, ob man sich mit Aufnahmen einer Kamera begnügen sollte (zweidimensionale Bilder), oder ob es notwendig wäre, über die Aufnahmen von Mehrkamerasystemen (mindestens drei synchron laufende Kameras) dreidimensionale Bilder zu errechnen.

Zu jedem beliebigen Aufnahmezeitpunkt t_1 ist jeder Punkt innerhalb des Bilderfassungsbereichs sämtlicher Kameras durch seine Position auf den durch die Kameras K_j erzeugten Bildern $B(t_1, K_j)$ eindeutig repräsentiert. (Wie aus den Peilverfahren der Seefahrt bekannt, gilt dieser Satz nur für Kameras, die nicht alle in einer Linie stehen.)

Da die in 1.3. aufgeführten bestehenden "atheoretischen" Modelle M zur Vorhersage menschlicher Körperbewegungen (ebenso wie die in 1.4. angeführten Neuentwicklungen) dynamische Prädiktionen hervorbringen (Definition siehe 1.1.2.), wird eine dreidimensionale Vorhersage der Position eines menschlichen Körpers zu einem Zeitpunkt t_1 (dh. eine Menge von Bildern $\{B(t_1, K_j) | j=1, \dots, n\}$, hierbei ist n die Anzahl der Kameras) auf der Basis einer Menge von Bildern $\{B(t_1, K_j) | j=1, \dots, n, 1 \leq j\}$ erstellt.

Sei nun $K_m, m \in \{1, \dots, n\}$ eine beliebige Kamera, M' ein Modell, das auf der Grundlage der zweidimensionalen Bilder dieser Kamera eine Vorhersage (=Aussage) über $B(t_1, K_m)$ auf der Basis von $\{B(t_1, K_j) | 1 \leq j\}$ erstellt.

M' ist "auf der m -ten Projektion", dh. für die Vorhersage $B(t_1, K_m)$ "stärker" als M , denn M benötigt für die Vorhersage von $B(t_1, K_m)$ als Datenbasis $\{B(t_1, K_j) | j=1, \dots, n, 1 \leq j\}$ und M' lediglich $\{B(t_1, K_m) | 1 \leq j\}$.

Wenn M' für eine beliebige Kamera Vorhersagen für t_1 liefert, so läßt sich (mathematisch) schlußfolgern, daß M' für alle Kameras K_j $B(t_1, K_j)$ liefert.

Die dreidimensionale Vorhersage für den Zeitpunkt t_1 ist nichts anderes als die Vereinigung aller zweidimensionalen Vorhersagen für t_1 , es gilt :

$$\{B(t_1, K_j) | j=1, \dots, n\} = \bigcup_{j=1}^n \{B(t_1, K_j)\}$$

Inwieweit diese mathematische Schlußfolgerung in der Praxis zulässig ist, könnte wie jede Anwendung mathematischer Denkweisen auf praktische Fragen zu wissenschaftstheoretischen Diskussionen Anlaß geben (beispielsweise könnte man auf einen Zweifel an der Verallgemeinerbarkeit von Ein-Kamera-Vorhersagen antworten, daß bei mehr als drei Kameras gar nicht die volle Verallgemeinerung auf alle Kameras notwendig wäre, sondern nur die Existenz von Vorhersagen für drei Kameras zum Zeitpunkt t_1 , weil sich aus den drei Bildern bereits eindeutig das dreidimensionale Bild konstruieren ließe, diese Überlegung wiederum würde zur Frage führen, wie auszuschließen wäre, daß sich bei der Existenz von mehr als drei Bildern (Vorhersagen) für t_1 bei deren Zusammensetzung zum dreidimensionalen Bild Widersprüche ergeben könnten usw.). Im Rahmen der vorliegenden Arbeit soll, solange keine experimentelle Widerlegung bekannt ist, davon ausgegangen werden, daß es genügt, ein Modell zu finden, daß ausgehend von den zweidimensionalen Bildern einer beliebigen Kamera Vorhersagen erstellt, dieses Modell würde dann, auf die Bilder von Mehrkamerasystemen zurückgreifend, dreidimensionale Vorhersagen erzeugen. In diesem Zusammenhang erscheint es zulässig, an Stelle der im zweidimensionalen Bild auftretenden "Projektion der Position des menschlichen Körpers" weiterhin von "Position des menschlichen Körpers" zu sprechen und ebenso statt "Projektion menschlicher Körperbewegung" weiterhin von "menschlicher Körperbewegung"

1.2.1. Gewinnung der Rohdaten

Das Datenmaterial wurde durch Filmen von im folgenden zu schildernden Bewegungen zweier weiblicher Personen im Alter von 11 ("Person 1") und 20 Jahren ("Person 2") gewonnen. Die Anzahl der Personen sollte einerseits die mögliche Betrachtung interindividueller Bewegungsunter-

Erläuterungen zu Abb. 4 :

- 1 : Eine Super-acht Kamera mit einer Aufnahme-
geschwindigkeit von 18 Bildern pro Sekunde,
in einer Höhe von 1,25m parallel zum Erdboden
installiert;
- 2 : eine Reservekamera mit analogen Daten, deren
Bilder zusätzliche Informationen liefern soll-
ten, falls eine Körperposition auf
einem Bild von Kamera 1 wegen even-
tueller Verdeckungen nicht eindeu-
tig zu bestimmen sein sollte
- 3 : der von beiden Kameras erfaßte "Beobachtungs-
bereich;
- 4 : Hauswand
- 5 : Terrasse
- 6 : Rasen

Zeitliche Durchführung:

Beide Versuchspersonen standen anfangs innerhalb von 6 .
Mindestens eine der Versuchspersonen wurde wie im folgen-
den geschildert, verbal instruiert, eine bestimmte Hand-
lung vorzunehmen; die entstehenden Sequenzen wurden
durchnummeriert. Je zwei Sequenzen waren durch eine Pause
getrennt, in der sich die Versuchspersonen nach 6 zurück-
begaben.

Die Auswahl der Arten der durchzuführenden Bewegungen
erfolgte ausgehend von der Annahme, daß es sich bei
ihnen um alltägliche, "natürliche" Bewegungen wachsen-
der Komplexität handle, vom "normalen Gehen" über
"beschleunigtes Gehen" (Einfluß von Zeitfaktoren auf
Bewegungen), "Übergang vom Gehen zum Stehen" (aktives
Unterbrechen einer Bewegung), "Übergang vom Gehen zum
Sitzen" (Wechsel der Bewegungsart) und "Übergänge Ge-
hen, Aufheben eines Kissens, Gehen unter Mitführung des
Kissens" (Mehrfacher Wechsel der Bewegungsart sowie

dauernde Störung einer Bewegung; hier wird davon ausgegangen, daß das Gehen durch das Mitführen des Kissens gestört wird, es wäre selbstverständlich ebenso möglich, eine neue Bewegungsart "Tragen" einzuführen, die "Gehen mit Kissen" umfassen würde) bis zu "aneinander Vorbeigehen" (infolge der Nähe der entgegengesetzt gerichteten Wege beider Versuchspersonen und der durchgeführten Ausweichbewegung als interaktive Situation zu werten).

Instruktionen :

- Seq.1, Person 2 : "Geh' bitte da entlang!" (Auf 3 weisende Handbewegung des Versuchsleiters, der mit dem Autor der vorliegenden Arbeit identisch war)
- Seq.2, Person 1 : genau wie in Seq. 1
- Seq.3, Person 1 : "Und nun bitte etwas schneller."
- Seq.4, Person 2 : "Auch etwas schneller bitte."
- Seq.5, Person 1 : "Geh' bitte dorthin und bleibe dort stehen."
(Handbewegung wie in Seq. 1)
- Seq. 6, Person 2 : "Geh' bitte auch dorthin und bleibe dort stehen." (gleiche Handbewegung)
- Seq. 7, Person 2 : "Setz' Dich bitte auf den Sessel dort."
(vor Seq.7 wurde in 3 ein Sessel mit einem Kissen placiert)
- Seq. 8, Person 1 : genau wie in Seq. 7
- Seq. 9, Person 1 : "Hol' Dir bitte das Kissen dort."
(Handbewegung zum oben geschilderten Sessel)
- Seq.10, Person 2 : genau wie in Seq. 9, das besagte Kissen wurde inzwischen an seinen Ursprungsort zurückgebracht.
- Seq.11, Pers.1&2 : "Geht bitte dort aneinander vorbei!"
(Handbewegung wie in Seq. 1, beide Versuchspersonen standen an entgegengesetzten Seiten von 3)

Alle induzierten Handlungen wurden gefilmt, sobald die betreffenden Personen den Erfassungsbereich der Kameras betreten hatten und ausgewertet für den Zeitraum des Aufenthalts in 3. Seq.11' wird in bezug auf Person 1 als zu beobachtender Person als Seq.11 bezeichnet und in bezug auf Person 2 als Seq.12.

1.2.2. Verarbeitung der Rohdaten

Im Besitz von zwölf Bildsequenzen mit menschlichen Bewegungen stellt sich die Frage, wie diese Bilder zum Zwecke einer rechnerischen Weiterverarbeitung (Modellüberprüfung, Modellentwicklung) auszuwerten sind.

Stellvertretend für die seit dem 15. Jahrhundert entwickelten ca. 80 Bewegungsnotationssysteme (Garske 1985, S. 15/16) soll die Benesh-Notation (entnommen aus Ryman, Singh, Beatty & Booth 1984) erörtert und der zu definierenden "Matrixfilterung" (in der Videotechnik als "Pixelization" bekannt, pers. Mitteilung G. Strube 1985) unter Zugrundelegung folgender Kriterien gegenübergestellt werden (die mittleren beiden Kriterien sind allgemeiner Natur, das erste und das vierte speziell für die vorliegende Arbeit relevant) :

- 1.) Eignung für die Darstellung beliebiger grob-motorischer Bewegungen
- 2.) Auswertungseinfachheit
- 3.) Existenz theoretischer Verbesserungsmöglichkeiten
- 4.) Möglichkeit der Verwendung der ausgewerteten Daten zu einem Vergleich der Bewegungsprädiktion eines Modells und der (abstrakten) Bewegungsprädiktion von Menschen, wobei es (u.U. nach einer kurzen

Einarbeitungsphase) den Teilnehmern an diesen Vergleich zumindest ansatzweise möglich sein sollte, die als Basis für Vorhersagen zur Verfügung stehenden Daten als "Bewegungen von Menschen" zu interpretieren (eine genaue Darstellung der Planung und Durchführung dieses Vergleichs ist unter 2.1. zu finden)

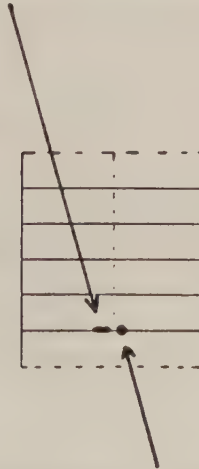
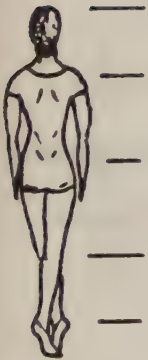
Die Benesh-Notation verwendet eine Unterteilung des menschlichen Körpers in "anatomischer Position" (siehe Abb. 5, nur ohne gekreuzte Beine und Füße) durch 5 horizontale und eine vertikale Linie, die horizontalen Linien verlaufen durch den obersten Punkt des Kopfes (ohne Berücksichtigung von Haaren etc.), die Schultergelenke, die Hüftgelenke, die Kniegelenke und die Fußgelenke (wobei die Füße auf halber Spitze, also auf dem Ballen stehen), die vertikale Linie verläuft durch die Körperachse.

Der Standpunkt für die Notation ist hinter dem Körper der sich bewegenden Person, es werden nur Körperteile aufgezeichnet, die sich nicht in ihrer "anatomischen Position" befinden, ansonsten werden nur Veränderungen notiert, nicht aber das Verbleiben in irgendeiner Position.

Statt sämtliche Details durchzusprechen, sollen anhand zweier Beispiele die Charakteristika der Benesh-Notation erarbeitet werden :

Abb. 5 Erstes Beispiel für die Benesh-Notation
(in Anlehnung an Ryman et al. 1984, S.29)

Linker Fuß vor der durch Schultergelenke
und Körperachse verlaufenden "coronalen
Ebene"



rechter Fuß hinter der coronalen Ebene

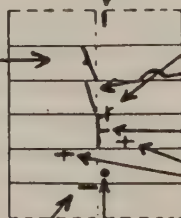
Abb. 6 Zweites Beispiel für die Benesh-Notation
(in Anlehnung an Ryman et al. 1984, S.28)

Linke Hand ungefähr in Höhe der Hüftgelenke auf der entgegengesetzten Seite der "sagittalen Ebene" bezüglich der "anatomischen Position" (daher durchgestrichen), die sagittale Ebene verläuft durch die Körperachse senkrecht zur coronalen Ebene

Kopf nach links unten geneigt



Rechte Hand über den Kopf erhoben



Rumpf nach links geneigt

Hüfte nach rechts gedreht

Position der Kniegelenke bei Lotprojektion auf die coronale Ebene

Rechter Fuß hinter der coronalen Ebene auf ganzer Sohle
(•) (oberhalb der 1. Linie)

Linker Fuß vor der coronalen Ebene ganz aufgesetzt
(—) (unterhalb der 1. Linie)

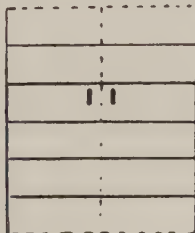
Es ist festzustellen, daß aus der Orientierung der Benesh-Bewegungsnotation in Richtung des klassischen Balletts eine Reihe von Eigentümlichkeiten resultieren, von der relativ zeitaufwendigen Auswertung und dem für Laien ohne größeren Arbeitsaufwand sowie die Benutzung entsprechender Tabellen nur schwer zu entschlüsseln- den Symbolapparat ganz abgesehen :

Hierzu zählen zum einen die Heterogenität der Skalen- niveaus der in einem Benesh-Diagramm enthaltenen In- formaitonen (z.B. "Glied auf der anatomischen Seite der sagittalen Ebene ? - Ja/Nein" ist nominal, "senk- rechte Projektion der Kniegelenke auf die coronale Ebene" führt zu rationalen Daten), zum anderen die Ununterscheidbarkeit einiger grobmotorischer Bewegungen, die im klassischen Ballett nicht vorkommen, z.B. :

- Phase 1 : Beide Arme parallel zum Erdboden maximal
seitlich gestreckt
- Phase 2 : Parallel zum Erdboden wird die rechte Hand
zur rechten Brust geführt, die linke analog
zur linken Brust
- Phase 3 : Bei Beibehaltung der Handstellung werden beide
Ellenbogen nach unten geklappt, bis sie am
Rumpf anliegen

Für alle drei Phasen gibt es nur ein Benesh-Diagramm, dieses sieht wie folgt aus :

Abb. 7 Benesh - Diagramm für die Phasen 1 - 3



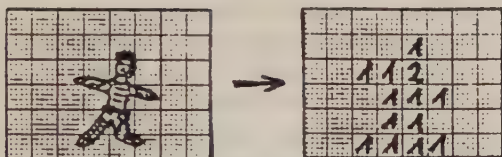
Die theoretischen Verbesserungsmöglichkeiten der Benesh-Notation sollten ebenfalls nicht allzu optimistisch betrachtet werden : Eine Einführung zusätzlicher horizontaler Unterteilungslinien bereitet wegen des Fehlens am Körper erkennbarer zusätzlicher Bezugspunkte Schwierigkeiten, Zusatzdaten wie "Öffnungswinkel der Beine" o.ä. schwer an "anatomisch passender" Stelle unterzubringen (im vorliegenden Beispiel also zwischen der 2. und 3. Linie); das gilt auch für mögliche Zusatzprojektionen auf die coronale Ebene (beispielsweise beider Ellenbogen). Ohne die Bedeutung der Benesh-Notation für die Zwecke des klassischen Balletts schmälern zu wollen, erscheint es für die Notation "alltäglicher" Bewegungen sinnvoll, nach universelleren und flexibleren Methoden zu suchen.

Von verblüffender Einfachheit in der Konzeption, bei der Auswertung und im Hinblick auf eine rechnerische Weiterverarbeitung ist die sogenannte "Matrixfilterung", die jedes Bild (wie aus Abb. 8 ersichtlich) in eine Matrix verwandelt, der gewünschte bzw. praktisch bewältigbare Grad der Erfassung der im Bild enthaltenen Informationen spiegelt sich primär in der Zahl der Zeilen und Spalten der Matrix wider. Die (theoretische) Flexibilität der Methode ist hoch, jede beliebige Bewegung kann mit einem entsprechend feinen Raster erfaßt werden.

Jedes Bild wird in 6 mal 8 Felder aufgeteilt, dieses eher grobe Raster entspringt den durch die manuelle Auswertung aufgezwungenen Beschränkungen der Informationsmenge, im vorliegenden Fall enthalten die Sequenzen ca. 50 000 Informationen.

Dasjenige Feld, in dem sich die Nasenwurzel der zu beobachtenden Person befindet, wird mit "2" gekennzeichnet, jedes andere Feld, in dem sich Körperteile der Person befinden, mit "1" und alle sonstigen Felder mit "0".

Abb. 8 Matrixfilterung



(Nicht markierte
Felder seien mit
"0" besetzt.)

Nachteile dieser Methode sind darin zu sehen, daß sie bei der Unterscheidung der Position verschiedener Körperteile etwas unhandlich wird (man könnte Körperteile durchnummerieren und für jedes Rasterfeld, in dem sich ein Körperteil "n" befindet, "n" an die betreffende Stelle der Matrix schreiben; mögliche Mehrfachbesetzungen erzwingen die Betrachtung von Matrizen, deren Elemente nicht mehr Zahlen, sondern Mengen von Zahlen sind) und daß es beim Betrachten von durch grobe Rasterung entstandenen Sequenzen (z.B. 6 mal 8) auf den ersten Blick nicht leicht fällt, darin menschliche Bewegungen repräsentiert zu sehen (was prinzipiell durchaus möglich ist und sich nach dem Durchsprechen einer Übungssequenz stark verbessert, letztere Behauptung basiert auf der Evaluation der von den Versuchspersonen während des Mensch-Modell-Prädiktionsvergleichs (siehe Kapitel 2) gegebenen Kommentare, ohne daß diese Behauptung zum Gegenstand einer experimentellen Untersuchung gemacht worden wäre).

Für n Vorhersagen ergibt sich der "relative - Fehler" wie folgt :

$$\Delta_r = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta(MV_i)}{n}$$

(hierbei ist MV_1 Vorhersage für MU_1 etc.)

Ist man hauptsächlich daran interessiert, ob MU und MV absolut übereinstimmen, dh. ob $\Delta(MV) = 0$ gilt, läßt sich ein schärferes Maß, der sogenannte B - Fehler wie folgt einführen :

$B(MV) = 0$ genau dann wenn $\Delta(MV) = 0$

$B(MV) = 1$ genau dann wenn $\Delta(MV) > 0$

Analog zu Δ_r ergibt sich B_r , der "relative - Fehler".

Die Einführung einer in der Psychologie üblichen Fehlerschranke von 5% soll in Bezug auf B_r erfolgen, dh. der relative B - Fehler eines "erfolgreich" vorher-sagenden Modells sollte .05 pro Vorhersage unter-schreiten (um Absurditäten vorzubeugen, sei einem Modell, das keine Vorhersagen tätigt, oder sinnlose Vorhersagen wie " Guten Morgen ! ", der relative B -Fehler sowie der relative Δ - Fehler " ∞ " zugeordnet; 5% des pro Vorhersage möglichen Δ - Fehlers von 48 ergäbe pro Bild eine Abweichung von 2.4 Fehlerpunkten, es wäre, wie ein Blick auf die Daten (Anhang 1.1.) zeigt, ziemlich schwierig, Vorhersagen zu treffen, die nicht innerhalb dieser 5% - Schranke lägen).

Um den Rechenaufwand bei der Überprüfung von Modellen mit den gerade festgelegten Fehlermaßen bezüglich der festgelegten Fehlerschranke drastisch zu verringern, sollen die Sequenzen von Matrizen einer Reihe von ver-einfachenden "Kondensationsprozeduren" (die jeweils bestimmte Teilaspekte der in den ursprünglichen Matri-zen festgehaltenen Bewegungen hervorheben) unterworfen werden, hierdurch entsteht eine Hierarchie von "Daten-ebenen", überschreitet ein Modell auf einer Ebene D die 5% - Schranke, so erst recht auf einer Ebene D' , die in der Hierarchie oberhalb von D steht.

Die soeben aufgestellten Behauptungen sollen nun erläutert und belegt werden :

Die Kondensationsprozeduren sind :

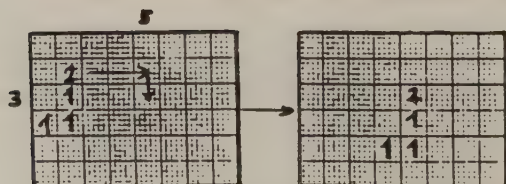
- 1.) "Subjektkondensieren" zur Ersetzung des am Bildrahmen orientierten durch ein subjektorientiertes Koordinatensystem und somit Vereinfachung von "Bewegung des Ursprungs des subjektorientierten Koordinatensystems sowie sonstiger Körperteile" auf "Bewegung sonstiger Körperteile in Bezug auf den Ursprung des subjektorientierten Koordinatensystems".

Ursprung eines Koordinatensystems mit zu den Bildrändern parallelen Achsen sei die Nasenwurzel der zu beobachtenden Person.

Ohne Beschränkung der Allgemeinheit kann dieser Ursprung in das Feld (5,3) gelegt werden, (Die erste Koordinate verläuft waagrecht von oben nach unten, die zweite senkrecht von links nach rechts.)

Die mit "1" oder "2" besetzten Felder jedes Bildes werden solange parallel zu den Bildrändern verschoben, bis das mit "2" besetzte Feld das Feld (5,3) ist. z.B.:

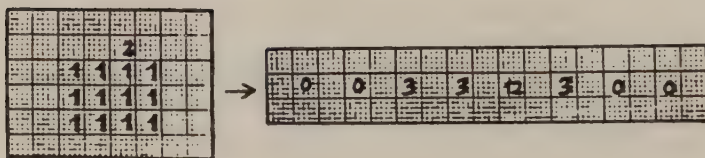
Abb. 10 Beispiel für Subjektkondensieren



3.) "Rechts-Links-Kondensieren" zur Hervorhebung von vom Kamerastandpunkt aus seitlicher Verlagerungen von Körperteilen bezüglich einer von der Nasenwurzel senkrecht zum Boden verlaufenden Linie :

Jedes Bild wird in die 8-elementige Folge seiner Spaltensummen verwandelt, z.B. :

Abb. 12 Beispiel für Rechts-Links-Kondensieren



(Statt "2" wird stets "9" addiert, um die die Nasenwurzel enthaltende Spalte besonders zu kennzeichnen.)

Aus programmierungstechnischen Gründen wird der entstandene Vektor (mit auf der Basis der vorliegenden Daten maximal vier Elementen ungleich Null) in eine 6 mal 4 Matrix binär codiert (jedem Element des Vektors, das ungleich Null ist, entspricht in eindeutiger Weise eine Spalte dieser Matrix, die nur Nullen und Einsen enthält). Durch Spielgeln der 6 mal 4 Matrix an ihrem rechten Rand erhält man eine 6 mal 8 Matrix, die bezüglich Spiegelungen an deren Mittelsenkrechter invariant ist, diese Spiegelungsinvarianz ist beim Übergang von LASA I zu LASA II (siehe 1.4.4.) von Nutzen, im gegenwärtigen Kontext jedoch ohne Bedeutung.

4.) "Vorwärts-Rückwärts-Kondensieren" zur Hervorhebung von Vorwärts- und Rückwärtsbewegungen bezüglich der Kamera (diese Bewegungen äußern sich im Bild durch Vergrößerung bzw. Verkleinerung der zu beobachtenden Person) :

Bei jedem Bild werden bezüglich des die "2" enthaltenen Feldes "Nachbarschaften" gebildet :

1. Nachbarschaft ist das Feld selber.
2. Nachbarschaft sind die Felder der ersten Nachbarschaft sowie alle Felder, die an irgendein Feld der ersten Nachbarschaft waagrecht, senkrecht oder diagonal direkt angrenzen.
3. Nachbarschaft sind die Felder der zweiten Nachbarschaft sowie...
4. Nachbarschaft sind alle übriggebliebenen Felder .

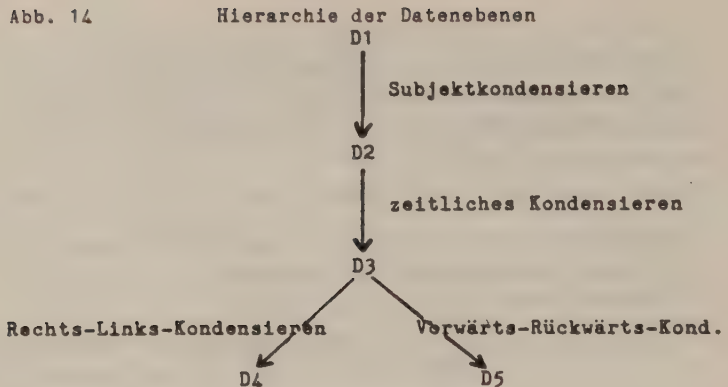
Indem man die Besetzungen der Felder der 1., 2., 3. und 4. Nachbarschaft zusammenzählt, erhält man eine vierelementige Folge, letztere wird, wie soeben unter 3.) dargestellt worden ist, in eine 6 mal 8 Matrix verwandelt.

Abb. 13 Beispiel für Vorwärts-Rückwärts-Kondensieren



Die Menge der Sequenzen der Matrizen sei als "Datenebene" D1 bezeichnet, aus ihr entstehen durch Anwendung der Kondensationsprozeduren die Datenebenen D2 bis D5 :

Abb. 14



Der Beleg dafür, daß die Datenebenen D1 bis D5 tatsächlich eine Hierarchie bilden, dh. das Überschreiten der 5% - Schranke auf einer tiefer stehenden Datenebene das Überschreiten der Schranke auf allen höher stehenden Ebenen durch ein- und dasselbe Modell impliziert, sind unter 1.3.1. (Verhalten verschiedenster Modelle auf Ausschnitten von D3 und D5) sowie unter 2.3. (Verhalten eines Modells "LASA II" auf Ausschnitten von D2 und D3) zu finden.

(Eine Verschärfung der Überschreitungsimplikation in Gestalt der Aussage "relativer Δ - und relativer β - Fehler eines Modells sind auf einer höheren Datenebene mindestens ebensogroß wie auf allen darunterliegenden" scheint allgemein nicht zuzutreffen; siehe 1.3.1. und 2.3. . Des weiteren wird nicht behauptet, daß die angesprochene Hierarchie von "Bildfrequenz" (= Anzahl der Bilder pro Zeiteinheit) und " 1. Auflösungsgrad " (= Anzahl der Felder einer Matrix auf D1 , der 1. Datenebene) unabhängig ist : in einem Gedankenexperiment läßt sich ein Modell ID konstruieren, dessen Vorhersage für jede Matrix M lautet, daß M gleich ihrer unmittelbaren Vorgängerin in der vorherzusagenden Sequenz ist. Auf den Ebenen D3-D5 werden durch die zeitliche Kondensation aufeinanderfolgende gleiche Matrizen zu einer Matrix zusammengezogen, eine Aussage der Gestalt " M gleich unmittelbare Vorgängerin von M " ist auf diesen Ebenen sinnlos, der relative

Δ - bzw. relative B- Fehler von ID auf diesen Ebenen somit ∞ . Bei konstantem 1. Auflösungsgrad kann die Bildfrequenz solange erhöht werden, bis sich fast alle aufeinanderfolgenden Bilder gleichen, infolgedessen unterschreitet ID die Fehlerschranke auf D1 und D2. Der Wert dieses Gedankenexperiments für die Praxis sei dahingestellt, es empfiehlt sich jedoch, im Gedächtnis zu behalten, daß die Überprüfung der in der vorliegenden Arbeit vorzustellenden Modelle auf der Basis einer Datenmenge bei fester Bildfrequenz und festem 1. Auflösungsgrad erfolgt.)

Im Einklang mit der Entwicklung der Erforschung künstlicher Intelligenz sollte, insbesondere im Hinblick auf mögliche "Cognitive Science" - Interpretationen der in der vorliegenden Arbeit darzustellenden Resultate (siehe 3.) , darauf geachtet werden, daß die vorzustellenden Modelle im Hinblick auf ihre Fähigkeit, zu "lernen" und ihre Fähigkeit, auf wechselnden "Problemumgebungen" zu operieren, überprüft werden können.

Der etwas diffuse Begriff der Problemumgebung reduziert sich im vorliegenden Fall auf "vorherzusagende Sequenz", "Operieren auf wechselnden Problemumgebungen" kann also als Vorhersagen verschiedener Sequenzen betrachtet werden (ohne Beschränkung der Allgemeinheit seien dieses die Sequenzen 10, 11 und 12).

Unter Bezugnahme auf Oerter 1967 (Seite 64/65 : "Immer dann, wenn wir eine Veränderung des Verhaltens bzw. ein neues Verhalten beobachten, das aus Erfahrung und Übung erwachsen ist, sprechen wir von Lernen.") läßt sich "Lernen", wenn man "Erfahrung und Übung" durch " Datenzuwachs " ersetzt, im vorliegenden Fall als "veränderte Vorhersage von Übergängen, ausgehend von einer wachsende Anzahl von Basissequenzen" (" Datenzuwachs ") interpretieren.

Demzufolge wäre die Fähigkeit eines Modells, zu lernen, durch Vergleich der folgenden Vorhersagen zu überprüfen :

{Seq.1} → Seq.10; {Seq.1, Seq.2} → Seq.10; ...; {Seq.1-9} → Seq.10
oder

{1} → 11; {1, 2} → 11; ...; {1, ..., 10} → 11

oder

{1} → 12; {1, 2} → 12; ...; {1, ..., 11} → 12

Zur simultanen Überprüfung der Fähigkeit eines Modells zur Vorhersage menschlicher Körperbewegungen könnte man die Gesamtheit der gerade angegebenen Vorhersagen untersuchen, im Interesse einer Begrenzung des Rechenaufwands sollen in der vorliegenden Arbeit jedoch lediglich die "maximalen" Fälle $\{1, \dots, 9\} \rightarrow 10$ ("Fall 1"), $\{1, \dots, 10\} \rightarrow 11$ ("Fall 2") und $\{1, \dots, 11\} \rightarrow 12$ ("Fall 3") betrachtet werden (In 10, 11 und 12 treten übereinstimmende Teilsequenzen auf, kann der Nachweis erbracht werden, daß z.B. im Fall 1 aus einer dieser Teilsequenzen und den Sequenzen 1 bis 9 eine andere Vorhersage erzeugt wird, als beispielsweise im Fall 2 aus den Sequenzen 1 bis 10 und genau der gleichen Teilsequenz, so "lernt" das vorhersagende Modell im Sinne der hier vorgenommenen Interpretation von "Lernen".).

Um Mißverständnissen vorzubeugen soll an dieser Stelle der Begriff der "Sequenz" näher ausgeführt werden :

Eine Sequenz im engeren Sinne (i.e.S.) ist eine Folge von Matrizen, die zeitlich unmittelbar aufeinanderfolgenden Bildern entsprechen, eine Teilsequenz (i.e.S.) einer Sequenz (i.e.S.) S' ist eine Teilfolge von S' , wobei die Glieder dieser Teilfolge unmittelbar zeitlich aufeinanderfolgen müssen. Eine Sequenz ist eine Sequenz im engeren Sinne oder aus einer solchen durch Anwendung durch Anwendung von Kondensationsprozeduren entstanden; eine Teilsequenz ist eine Teilsequenz im engeren Sinne oder aus einer solchen durch Anwendung von Kondensationsprozeduren hervorgegangen.

Bei der Diskussion von Modellen, deren Brauchbarkeit im Hinblick auf die in diesem Abschnitt definierte Fehler-schranke sowie das vorliegende Datenmaterial als unzureichend betrachtet werden muß, kann es unterbleiben, auf "hochwertige" Eigenschaften wie "Lernen" oder "Operieren auf wechselnden Problemumgebungen" einzugehen, die Beschäftigung mit einem Fall (wahlweise 1 oder 2 wegen des gegenüber Fall 3 geringeren Rechenaufwands) sollte ein ausreichendes Bild des Modells verschaffen.

1.3. Überprüfung existierender Prädiktionsmodelle

Wenn man in der Literatur nach Methoden sucht, die sich auf die Vorhersage menschlicher Körperbewegungen anwenden lassen, stößt man fast überall auf außerordentlich komplizierte Mathematik (stochastische Differentialgleichungen etc.), die einzige Ausnahme hiervon scheinen Markov-Matrizen zu sein (Definition in 1.3.1.) . Dabei muß auf die Überprüfung von Methoden verzichtet werden, die eine monate- bis jahrelange Einarbeitung erfordern; hierzu zählt auch "Synergetik".

1.3.1. Semistochastische Modelle 1. Ordnung

Sei M eine Matrix auf einer beliebigen Datenebene D in einer beliebigen Sequenz S in einem beliebigen Fall F , die ein Bild zu einem Zeitpunkt t_1 repräsentiert. Die Sequenz S kann als "stochastischer Prozeß" bezeichnet werden und M als "Zustand", der von dem stochastischen Prozeß S "angesteuert" wird. Der in der Sequenz S M unmittelbar folgende Zustand N heißt "Folgezustand von M in S ". Die Wahrscheinlichkeit dafür, daß in S eine Matrix N Folgezustand von M ist, heiße "Übergangswahrscheinlichkeit von M zu N in S " und soll mit " U_{MN} " bezeichnet werden. Eine "Markov-Matrix 1. Ordnung für S " ist eine Matrix der folgenden Gestalt :

Abb. 15 Markov-Matrix 1. Ordnung für S

		beliebige mögliche Zustände				
		z_1	z_2	$\dots$	z_n	$z_{n+1} \dots$
durch S angesteuerte Zustände	z_1	$\bar{u}_{1,1}$	$\bar{u}_{1,2}$	$\dots$	$\bar{u}_{1,n}$	$\bar{u}_{1,z_{n+1}} \dots$
	z_2	$\bar{u}_{2,1}$	$\bar{u}_{2,2}$	$\dots$	$\bar{u}_{2,n}$	$\bar{u}_{2,z_{n+1}} \dots$
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$
	z_n	$\bar{u}_{n,1}$	$\bar{u}_{n,2}$	$\dots$	$\bar{u}_{n,n}$	$\bar{u}_{n,z_{n+1}} \dots$

U_{MN} wird geschätzt mittels der relativen Häufigkeit des Übergangs von M zu N in allen Sequenzen mit niedrigerer Numerierung als S sowie dem Anfangsstück von S, das das betrachtete Auftreten von M nicht enthält. (Beispiel : Sei S " c b a b a " , "a", "b", "c" Zustände, für die Betrachtung des zweiten Auftretens von "b" darf dann das Anfangsstück " c b a " herangezogen werden.)

Bevor die Brauchbarkeit von Markov-Matrizen für die Vorhersage menschlicher Bewegungen überprüft werden kann, soll aus Gründen der Übersichtlichkeit für 6 mal 8 Matrizen auf D5 eine vereinfachte Schreibweise eingeführt werden :

Wie aus 1.2.2. bekannt ist, ist eine Matrix auf D5 nichts anderes als ein Codifikat eines Quadrupels von Zahlen, die von links nach rechts monoton zunehmen (z.B. 2,5,10,14). Da das erste Element dieses Quadrupels stets "2" ist (Signatur der Nasenwurzel), läßt sich dieses Quadrupel in eindeutiger Weise durch ein Tripel ersetzen, indem man den Betrag der Differenz jedes Elementes des Quadrupels mit dem folgenden Element bildet. (2,5,10,14 wird so zu 3,5,4) Dieses Tripel enthält an 1. Stelle die Anzahl der Elemente ungleich Null in der 2. Nachbarschaft (Definition siehe 1.2.2.), an 2. Stelle die der 3., an 3. Stelle die der 4. ; jeder Zustand auf D5 läßt sich also eindeutig als Tripel schreiben.

Ohne Beschränkung der Allgemeinheit soll in der folgenden Matrix Fall 2 behandelt werden, also die möglichen Übergänge in der Sequenz 11 mit Hilfe der Basissequenzen 1 bis 10 sowie des jeweiligen Anfangsstücks von 11 geschätzt werden; Übergänge mit der relativen Häufigkeit Null werden aus Platzgründen ebensowenig aufgeführt wie in den Sequenzen 1 bis 11 nicht angesteuerte Zustände.

Zum Vergleich soll die diesbezügliche Matrix auf einer anderen Datenebene angegeben werden, die dazu notwendige Tabelle erstreckt sich über zwei Seiten.

Zeichenerklärung für Tabelle 7

01	⊗	02	⊗	03	⊗	04	⊗
	x		x		x		x
	x		x		x		x
05	⊗x	06	⊗x	07	⊗x	08	⊗
	xx		xx		xx		xx
	xx		xx		x		x
			x		x		x
09	⊗	10	⊗	11	⊗	12	⊗
	x		x		x		xx
	x		x		xx		xx
	x		xx		xx		xx
13	x⊗	14	⊗	15	⊗	16	x⊗
	xx		xx		xx		xx
	xx		xx		x		xx
	xx		x		x		x
17	⊗x	18	⊗	19	⊗	20	⊗
	x		xx		xx		xx
	xx		xx		xx		x
	x						
21	⊗x	22	⊗	23	x⊗	24	x⊗
	xx		x		x		xx
	x		xx		x		x
25	xx	26	⊗x	27	⊗	28	⊗x
	x⊗		xx		x		x
	xx		xxx		xxx		x
29	⊗x	30	x⊗x	31	⊗	32	x⊗
	x		xx		x		xx
	xx		xxx		xx		x
							x
33	⊗	34	⊗	35	⊗	36	⊗
	xx		x		x		x
	xx		x		x		xx
	x		xx		x		xxx
37	⊗x	38	x⊗	39	⊗	40	x⊗
	x		xx		xx		xx
	x		xx		xx		x
	x		x		xx		x
41	x⊗	42	x⊗	43	x⊗		
	xxx		xx		x		
	xx		xx		xx		
	xx		x		x		

Tabelle 7 Markov-Matrix 1.Ordnung für Seq. 11 auf D3

[illegible][illegible]

Welche Arten von Modellen zur Bewegungsvorhersage lassen sich ausgehend von diesen Matrizen konstruieren ? Versuche, auf herkömmliche stochastische Modelle zurückzugreifen und einen Zustand probabilistisch vorherzusagen, zeitigen unbefriedigende Resultate jenseits der 5% - Schranke :

Betrachtet man beispielsweise Tabelle 6, so erhält man bereits bei der Vorhersage des zweiten Zustands (210) einen Φ - Fehler von :

$$.25 \cdot 1 + .30 \cdot 0 + .05 \cdot 1 + .05 \cdot 1 + .10 \cdot 1 + .20 \cdot 1 + .05 \cdot 1 = .70$$

Dieser Φ - Fehler ist für andere Zustände, die von der Sequenz 11 angesteuert werden, nicht wesentlich geringer und es ist nicht zu erkennen, wie der Φ - Fehler einer probabilistischen Vorhersage auf andere als die angegebene Art und Weise sinnvoll berechnet werden könnte.

Wenn man nicht das Unterschreiten der 5% - Schranke bei der Vorhersage menschlicher Bewegungen generell als illusorisch betrachten will (was es nicht ist, wie in Abschnitt 1.4. gezeigt werden wird), erscheint es geraten, von probabilistischen Vorhersagen abzusehen und statt Mengen von Zuständen jeweils nur einen Zustand vorherzusagen. Bei der Auswahl dieses Zustands auf Grund der in der Markov-Matrix 1. Ordnung aufgelisteten Übergangswahrscheinlichkeiten ist sinnvollerweise zu fordern, daß die Übergangswahrscheinlichkeit zum vorhergesagten Zustand höher ist als die zu jedem nicht vorhergesagten Zustand. (Beispiel in Tabelle 6 : die Vorhersage für den 6. Zustand lautet 311, denn die Übergangswahrscheinlichkeit des 5. Zustands zu 311 ist mit .50 höher als die zu 221 (.30), 320 (.10) oder 322 (.10); der Φ - Fehler dieser Vorhersage ist Null.)

Bereits diese minimale Einschränkung bringt es mit sich, daß Zustände auftreten, für die keine Vorhersage erfolgen kann (z.B. in Tabelle 7 : da die Übergangswahrscheinlichkeit vom 2. Zustand (02) zu 19 und 03 beide Male gleich .50 ist, ist die Bedingung höherer Übergangswahrscheinlichkeit zum vorherzusagenden Zustand nicht erfüllt.), es erfolgt ein Wechsel von die 5% überschreitenden totalen Modellen (dh. solchen, die

für jeden Zustand eine Vorhersage gestatten, so unvollkommen diese auch sein mag) zu partiellen (dh. solchen, die nicht für jeden Zustand eine Vorhersage gestatten).

Die Modelle in diesem Abschnitt, die auf der Basis von Markov-Matrizen 1. Ordnung für einen Zustand höchstens eine Vorhersage gestatten, sollen "semistochastische Modelle 1. Ordnung" genannt werden, das gerade vorgestellte Modell, das für die Vorhersage des (n+1)-ten Zustands einer Sequenz die Existenz eines Zustands v fordert, sodaß die Übergangswahrscheinlichkeit vom n-ten Zustand von S zu v größer ist als alle anderen Übergangswahrscheinlichkeiten vom n-ten Zustand von S, soll mit MARP(>,1) bezeichnet werden (">" steht für "größer" und "1" für "1. Ordnung").

Durch die Zusatzforderung, daß zu einer Vorhersage diese Übergangswahrscheinlichkeit zu v größer als .50 sein muß, ergibt sich ein Modell MARP(.50,1), analog mit "größer .80" MARP(.80,1), sowie mit "größergleich 1.00" MARP(1.00,1).

Die Ergebnisse dieser semistochastischen Modelle 1. Ordnung sind in den folgenden zwei Tabellen zusammengestellt worden, die Fehlerschranke von 5% kann als überschritten betrachtet werden.

Tabelle 8 Semistochastische Modelle 1. Ordnung
auf D5, Fall 2

MARP(>,1)		MARP(.50,1)		MARP(.80,1)		MARP(1.00,1)	
R	F	R	F	R	F	R	F
7	9	2	3	0	1	0	1
B_r .56		.60		1.00		1.00	

maximal möglich :
18 Vorhersagen

R steht für richtig, F für falsch,

B_r für relativen B-Fehler

Tabelle 9 Semistochastische Modelle 1. Ordnung
auf D3, Fall 2

MARP(>,1)		MARP(.50,1)		MARP(.80,1)		MARP(1.00,1)	
R	F	R	F	R	F	R	F
2	9	3	3	0	3	0	3
$\bar{B}_T$	.82	.50		1.00		1.00	

maximal möglich :
20 Vorhersagen

(Bezeichnungen wie in Tabelle 8)

Im folgenden soll der Versuch unternommen werden, auf dem Boden der herkömmlichen Modelle der mathematischen Psychologie zu verbleiben und durch Erhöhen der "Ordnung" der betrachteten Markov-Matrizen möglicherweise den relativen $\bar{B}$ -Fehler unter 5% zu senken.

1.3.2. Semistochastische Modelle höherer Ordnung

Eine "Markov-Matrix 2. Ordnung für S" ähnelt der Markov-Matrix 1. Ordnung für S, nur daß links an jeder Zeile statt einem Zustand ein Paar von in S aufeinanderfolgenden Zuständen steht und in jeder Zeile der n-ten Zeile und m-ten Spalte die Wahrscheinlichkeit dafür, daß im Anschluß an den 1. und 2. im n-ten Paar stehenden Zustand sogleich der oberhalb der m-ten Spalte stehende Zustand z_m von S angesteuert wird.

Analog sind Markov-Matrizen 3., 4. und n-ter Ordnung für S ($n \geq 4$) definierbar, wobei statt Paaren dann Tripel, Quadrupel, allgemein n-Tupel von Zuständen betrachtet werden.

Auf der Basis von Markov-Matrizen 2. Ordnung für S ergibt sich analog zu MARP(>,1) bei Markov-Matrizen 1. Ordnung ein Modell MARP(>,2) :

Ein Zustand v ist genau dann Vorhersage für den (n+1)-ten Zustand von S, wenn die Übergangswahrscheinlichkeit vom (n-1)-ten Paar (das den (n-1)-ten und den n-ten Zustand von S enthält) zu v größer ist als alle Übergangswahrscheinlichkeiten von diesem Paar zu anderen Zuständen. Ebenfalls analog ergeben sich MARP(.50,2), MARP(.80,2) und MARP(1.00,2) sowie für Tripel MARP(...,3) und für Quadrupel MARP(...,4).

Die Resultate dieser Modelle lassen sich aus der folgenden Tabelle entnehmen :

Tabelle 13 Semistochastische Modelle höherer Ordnung auf D5, Fall 1

MARP(>,2)	MARP(.50,2)	MARP(.80,2)	MARP(1.00,2)
R F	R F	R F	R F
15 6	13 2	4 1	4 1
$IB_{\downarrow}$.29	.13	.20	.20
MARP(>,3)	MARP(.50,3)	MARP(.80,3)	MARP(1.00,3)
11 4	10 2	9 1	9 1
$IB_{\downarrow}$.27	.17	.10	.10
MARP(>,4)	MARP(.50,4)	MARP(.80,4)	MARP(1.00,4)
3 5	3 4	3 3	3 3
$IB_{\downarrow}$.63	.57	.50	.50

maximal möglich :
30 Vorhersagen

(Bezeichnungen wie in Tabelle 8)

Die folgenden Tabellen sind Beispiele für Markov-Matrizen 2., 3., und 4. Ordnung für Seq. 10.

Tabelle 10 Markov-Matrix 2. Ordnung für Seq. 10 auf D5

		311	120	130	310	210	220	510	320	110	122	5
220	320	.26	.21	.05	.16	.05	.21	.05				
320	220		.50	.25		.13			.13			
220	120						.17			.67	.17	
120	110		.11		.11	.44	.22		.11			
110	120						1.00					
120	220								1.00			
220	320	.25	.10	.05	.15	.05	.25	.05				
320	210						1.00					
210	110		.50				.50					
110	220								1.00			
220	320	.24	.13	.05	.14	.10	.24	.05				
320	500											
500	320											
320	220		.56	.12		.11			.11			
220	120						.14			.71	.14	
120	110		.20		.10	.40	.20		.10			
110	210				.40		.60					
210	320											
320	220		.60	.20		.10			.10			
220	120						.13			.75	.13	
120	110		.18		.09	.45	.18		.09			
110	320											
320	220		.64	.18		.09			.09			
220	120						.11			.74	.11	
120	110		.17		.08	.42	.17		.17			
110	120								1.00			
220	320	.23	.18	.05	.14	.09	.23	.05				
320	220		.67	.17		.08			.08			
220	120						.10			.80	.10	

Tabelle 11 Markov-Matrix 3. Ordnung für Seq. 10 auf D5

			210	120	130	110	320	220	321	310	500
220	320	120	.25	.50	.25						
320	120	420				1.00					
220	120	110	.33	.33			.33				
120	110	120						1.00			
110	120	220					1.00				
120	220	320		.13				.13	.50	.25	
220	320	210						1.00			
320	210	110									
110	110	220					1.00				
110	220	310		.50					.50		
220	320	500									
320	500	320									
500	320	220									
320	220	120				1.00					
220	120	110	.25	.50			.25				
120	110	210						.75		.25	
110	210	320									
210	320	220									
320	220	120				1.00					
220	120	110	.40	.40			.20				
120	110	320									
110	320	220									
320	220	120				1.00					
220	120	110	.33	.33			.33				
120	110	220					1.00				
110	220	320		.33				.13		.33	
220	320	220	.20	.60	.20						
320	220	120				1.00					

Tabelle 12 Markov-Matrix 4. Ordnung für Seq. 10 auf D5

				110	120	320	210	220	310	321
220	320	220	120	1.00						
320	220	120	110		.33	.33	.33			
220	120	110	120					1.00		
120	110	120	220			1.00				
110	120	220	320						.67	.33
120	220	320	210							
220	320	210	110							
320	210	110	220							
210	110	220	320						1.00	
110	220	320	500							
220	320	500	320							
320	500	320	220							
500	320	220	120							
320	220	120	110		.50	.25	.25			
220	120	110	210					1.00		
120	110	210	320							
110	210	320	220							
210	320	220	120							
320	220	120	110		.40	.20	.40			
220	120	110	320							
120	110	320	220							
110	320	220	120							
320	220	120	110		.33	.33	.33			
220	120	110	220							
120	110	220	320		1.00					
110	220	320	220							
220	320	220	120	1.00						

Obwohl sich bei semistochastischen Modellen 3. Ordnung erste Anzeichen für brauchbare Vorhersagen zu ergeben schienen, blieb doch der Versuch des Unterschreitens der 5% - Schranke durch Modelle noch höherer Ordnung erfolglos und führte sogar zu einer Verschlechterung der Vorhersageleistungen. Diese Resultate lassen die Konstruktion und Überprüfung semistochastischer Modelle 5. und höherer Ordnung als wenig erfolgversprechend erscheinen und legen (falls man den Versuch der Vorhersage menschlicher Körperbewegungen nicht gänzlich ad acta legen möchte) die Entwicklung von Modellen nahe, die nicht wahrscheinlichkeitstheoretischen Ursprungs sind.

1.4. Entwicklung und Überprüfung neuartiger Prädiktionsmodelle

1.4.1. Zyklenmodell

Der mangelnde Erfolg der wahrscheinlichkeitstheoretischen Modelle legt es nahe, nach neuen Ideen für zu entwickelnde Modelle zu suchen. Hier bietet sich eine Bezugnahme auf die "Stabilisierung von Ereigniszyklen" (Kelso, Holt, Rubin & Kugler 1981, siehe 1.1.3.) an. Der Begriff 'des Zyklus' soll in der vorliegenden Arbeit allerdings völlig naiv definiert werden, von Kelso werden weder Definitionen noch mathematischer Apparat übernommen.

Eine Folge von Zuständen $z_1, z_2, \dots, z_n, z_{n+1}$ heiße ZYKLUS der Länge n mit dem ANFANGSZUSTAND z_1 und dem ENDZUSTAND z_{n+1} , wenn gilt : 1) n größer als 1

2) $z_1, \dots, z_n$ sind paarweise verschieden

3) $z_1 = z_{n+1}$

Beispiel : In Seq.6, D5 lassen sich folgende Zyklen finden:

220 320 220

220 210 110 120 220

Gibt es zu einem z_1 aus einem S_v genau einen Zyklus in B, dessen Anfangszustand z_1 ist, so läßt sich dieser Zyklus (ohne den Anfangszustand) als Vorhersage der Folgezustände von z_1 betrachten.

Existiert kein derartiger Zyklus, so erfolgt keine Vorhersage. Gibt es mehrere dieser Zyklen in B, so sucht man in B genau einen Zyklus, der mit dem Paar (z_{i-1}, z_i) beginnt und verfhrt analog zur obigen Vorgehensweise.

Gibt es mehrere Zyklen, die mit dem Paar (z_{i-1}, z_i) beginnen, sucht man nach dem Tripel (z_{i-2}, z_{i-1}, z_i) usw. Voraussetzungen für diese Erhöhung der "Tiefe" von 1 auf 2(Paare) auf 3(Tripel)... sind:

a) z_{i-1} existiert bzw. z_{i-2} und z_{i-1} existieren bzw. ...

b) Die Zustände in den betrachteten Paaren, Tripeln etc. müssen paarweise verschieden sein.

Falls eine dieser beiden Voraussetzungen nicht erfüllt ist, bricht das Verfahren ab und es wird keine Vorhersage getätigt.

Man beginnt mit einer systematischen Untersuchung von D5, Fall 1 : (Daten in Anhang 1.2) Vorherzusagen ist Seq. 10.

Zustand von	ist	Auftreten im Zyklus	aus Seq.	eindeutig	Vorhersage
10. 1	220	220 320 120 110 220	2		
		220 120 110 210 220	3	nein	
es gibt kein 10.0., daher					nein
10. 2	320	320 220 130 120 320	1		
		320 330 130 120 220 320	1	nein	
10. 1	220	220	2		
10. 2	320	320 120 110 220			
		220 320 130 120 220	3	nein	nein
10.3 analog 10. 1					
10. 2	320	320	1		
10. 3	220	220 130 120 320			
		320 220 320	9	nein	

Zustand von	ist	Auftreten im Zyklus	aus Seq.	eindeutig	Vorhersage
10. 1	220				
10. 2	320				
10. 3	220	Bedingung b)(Anfang dieses Abschnitts) nein verletzt			
10. 4	120	120	1		
		320			
		330			
		130			
		120			
		120	2	nein	
		110			
		220			
		320			
		120			
10. 3	220	220	3		
10. 4	120	120			
		110			
		210			
		220			
		220	4	nein	
		120			
		220			
10. 2	320	320	4	ja	
10. 3	220	220			
10. 4	120	120			
		110			
		320			
		ist Vorhersage für 10. 5; richtig			
		ist Vorhersage für 10. 6; falsch			

Ausgehend von 10.5 ergibt sich wegen des gleichen Zyklus' die gleiche falsche Vorhersage für 10.6 .
 Die Sequenz 10 hat auf der Ebene D5 30 Zustände, von denen aus eventuell eine Vorhersage möglich wäre, die 5% - Schranke für 30 Vorhersagen entspricht 1.5 - Fehlern und ist mit der 2. falschen Vorhersage überschritten worden.

An der Entstehung der Fehler scheinen zwei Aspekte beteiligt zu sein :

- 1.) Die Bedingung der Existenz genau eines Zyklus',
in dem ein zur Vorhersage Anlaß gebender Zustand
liegen soll
- 2.) Das erneute Ansteuern des Anfangszustandes

Ohne Beschränkung der Allgemeinheit soll zunächst die Relevanz des 2. Aspekts untersucht werden, zu diesem Zweck gilt es ein Vorhersagemodell zu entwickeln, das keinen Zustand mehrfach ansteuert.

1.4.2. Kontrazyklenmodell

Die Vorgehensweise entspricht exakt der des Zyklenmodells, nur tritt die Bedingung hinzu, daß die jeweilige Vorhersage

jetzt nicht mehr den Endzustand des Zyklus' umfassen soll. Für D5, Fall 1, ist bis einschließlich 10. 3 analog vorzugehen. Für die Vorhersage aufgrund von 10. 4 ergibt sich für 10. 5 völlig korrekt 110 und für 10. 6 wird an dieser Stelle nichts vorhergesagt; der Fehler ist somit vermieden, da der Zustand von 10. 6 dem Endzustand des betrachteten Zyklus' entspricht.

10. 5	110	110 220 320 120 110	2	
		110 210 310 320 311 111 110	2	
				nicht eindeutig
10. 4	120	120	2	
10. 5	110	110 220 320 120		
		120 110 210 220 320 120	2	
				nicht eindeutig
10. 3	220	220	3	
10. 4	120	120		
10. 5	110	110 210 220		
				ist Vorhersage für 10.6: falsch

10.6	120	120	1	
		320		
		330		
		130		
		120		
		320	1	
		330		
		130		
		120		
		220		
		320		nicht eindeutig
10.5	110	110	7	
10.6	120	120		
		220		
		320		richtig
		310		richtig
		210		falsch
		110		falsch

Analog zum Zyklenmodell (1.4.1.) läßt sich schluß-
folgern, daß mit dem zweiten (und erst recht dem
dritten) Fehler die 5% - Schranke überschritten
wurde.

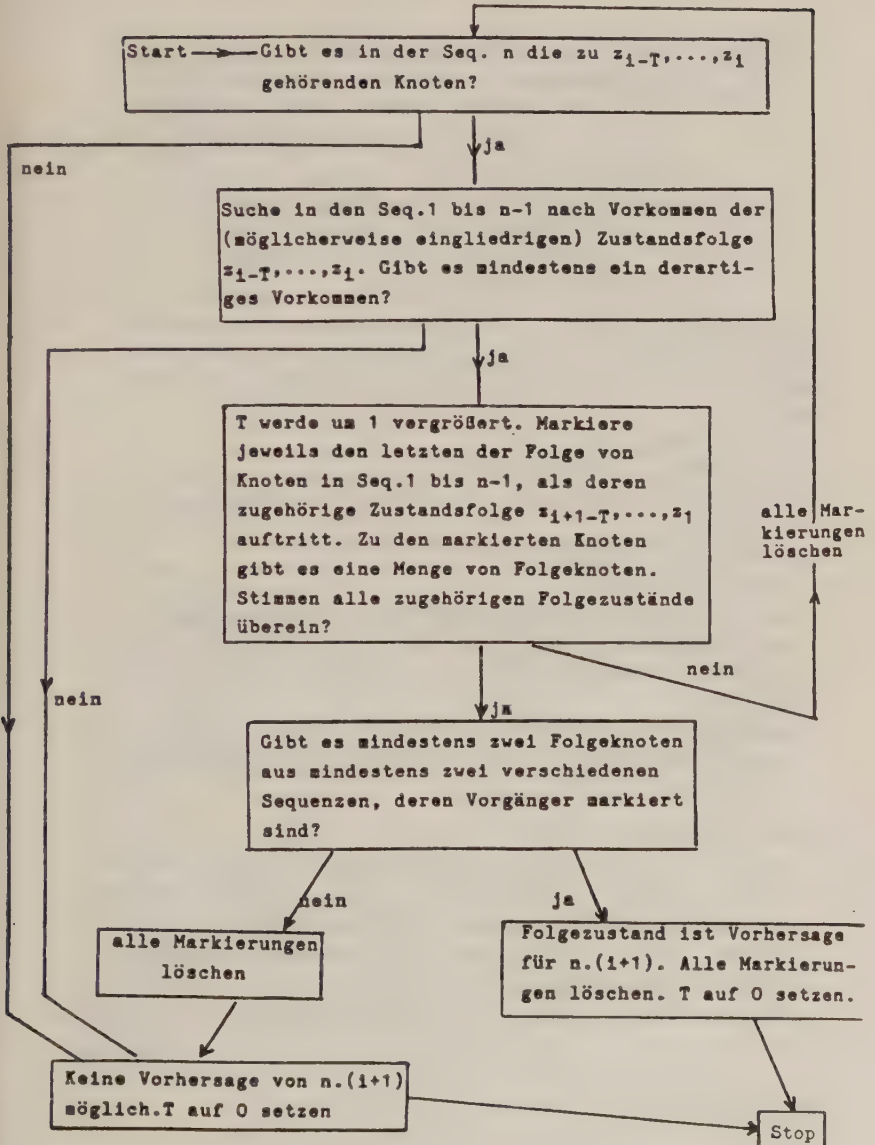
1.4.3. LASA I (1. lokaler antisingulärer Automat)

Man stellt bei der Analyse der zyklischen bzw. kontra-zyklischen Automaten drei Charakteristika fest :

- 1) Die zu untersuchende Vergangenheit wird beschränkt auf Zustandsfolgen zyklischer bzw. kontrazyklischer Natur. Diese Einschränkung soll im folgenden aufgehoben werden.
- 2) Es wurde versucht, eine prinzipiell beliebige Anzahl von Folgezuständen vorherzusagen ("globaler Ansatz"). Dieser globale Ansatz soll durch einen lokalen ersetzt werden, dh. nur noch ein Folgezustand soll jeweils vorhergesagt werden.
- 3) Es wurde versucht, eine einzige Folge von Zuständen als für die Vorhersage relevant zu betrachten. Diesem singulären Ansatz soll nun ein antisingulärer entgegengestellt werden, dh. für jede Vorhersage sollen mindestens zwei Zustandsfolgen aus verschiedenen Sequenzen verwendet werden.

Vorherzusagen sei der $(i+1)$ -te Zustand der Folge n (n größer gleich 10) aus seinen Vorgängerknoten $z_1, z_{i-1}, \dots, z_{i-T}$ (T heiße Tiefe) unter Benutzung der Basissequenzen $1, \dots, n-1$. Die Tiefe sei zunächst mit Null festgelegt.

Abb. 16 Flußdiagramm der Funktionsweise von LASA I



- Anmerkungen: 1) Statt z_{1-T} wird an einer Stelle z_{1+1-T} geschrieben; es handelt sich aber beide Male um denselben Zustand, da T im zweiten Fall im Vergleich zum ersten T um 1 vergrößert worden ist.
- 2) Der Algorithmus bricht nach endlich vielen Schritten mit der Aussage "Keine Vorhersage möglich" oder der konkreten Angabe der Vorhersage ab.

Die Funktion von LASA I soll nun anhand einiger Beispiele vorgeführt werden. Vorherzusagen sei Seq. 10, D5, Fall 1. (Sämtliche hierfür notwendige Daten finden sich im Anhang 1.2.)

a) zur Vorhersage von 10.2 :

T ist 0; i ist 1; n ist 10.

In der Seq. 10 gibt es den zu $z_{1-0}=z_1=z_1$ gehörigen Knoten 10.1.

z_1 ist 220 . 220 tritt z.B. in Seq. 1 auf.

T erhält den Wert 1.

Markiert werden beispielsweise 1.2 und 1.9; zugehörige Folgezustände sind also unter anderem die Zustände von 1.3 und 1.10, nämlich 130 bzw. 220. Diese stimmen nicht überein.

Die Folge 10.0, 10.1 existiert nicht in Seq. 10, deshalb erfolgt die Aussage "Keine Vorhersage von 10.2 möglich". T wird wieder auf 0 gesetzt.

b) zur Vorhersage von 10.3 :

$i=2$; $z_1=320$. 320 ist Zustand von 1.1 , 1.5 u.v.a., daraus folgt: T ergibt sich zu 1. Zustand von 1.2. ist 220, von 1.6 330, also : Divergenz der Folgezustände.

In Seq. 10 gibt es 10.1, 10.2, die dazugehörige Zustandsfolge ist 220,320. 220,320 tritt u.a. in 1.9, 1.10 mit Folgezustand 321 und 2.1, 2.2 mit Folgezustand 120 auf. Diese

Folgezustände sind divergent. 10.0, 10.1, 10.2 existiert nicht in Seq. 10, deshalb gilt "Keine Vorhersage von 10.3 möglich."

c) zur Vorhersage von 10.4 :

10.3 hat den Zustand 220, analog a) herrscht Divergenz bei $T=1$. 10.2, 10.3 haben als Zustandsfolge 320,220. 320,220 gibt es in 1.1, 1.2 mit Folgezustand 130 und 3.1, 3.2 mit Folgezustand 120, daher gilt Divergenz für $T=2$. Zustandsfolge von 10.1, 10.2, 10.3 ist 220,320,220. Diese tritt in Seq. 6 und Seq. 8 mit dem Folgezustand 210 bzw. 120 auf. Wieder bricht wegen Nichtexistenz von 10.0 das Verfahren ohne Vorhersage ab.

d) zur Vorhersage von 10.5 :

10.4 hat den Zustand 120. Dieser tritt in 1.4 und 1.8 auf, die betreffenden Folgezustände sind 320 und 220, dh. : Divergenz. Man betrachte 220,120 dieses führt in Seq.3 zu 320 und in Seq.4 zu 220, also herrscht für $T=2$ ebenfalls Divergenz. 320,220,120 führt in den Sequenzen 3,4,8 und 9 zu 110, dh. Übereinstimmung der Folgezustände ("Konvergenz"). 110 ist Vorhersage für 10.5. Diese Aussage ist richtig.

Im folgenden sollen lediglich die Resultate der Anwendung des im Anhang 2 beschriebenen Computerprogramms dargestellt werden:

D5, Fall 1

Vorherzusagender Knoten Vorhersage korrekt ?

10.5	110	ja
10.6	220	ja
10.7	320	ja
10.12	320	ja
10.17	110	ja
10.22	110	ja
10.26	110	ja
10.28	320	ja
10.31	110	ja

maximal möglich :
30 Vorhersagen

D5, Fall 2

Vorherzusagender Knoten	Vorhersage	korrekt ?	
11.4	320	ja	maximal möglich : 18 Vorhersagen

D5, Fall 3

12.6	320	ja	
12.9	110	ja	
12.14	110	ja	
12.17	320	ja	maximal möglich : 18 Vorhersagen

Hiermit steht fest, daß LASA I auf D5 die 5% - Schranke unterschreitet, das gleiche gilt für D4, auf D3 (Fall 1) jedoch gestattet LASA I keine einzige Vorhersage, laut Definition (1.2.2.) ist damit der relative $\sqrt{B}$ -Fehler ∞ .

1.4.4. LASA II

Man kann die Auffassung vertreten, daß LASA um so besser arbeitet, je mehr Basisdaten er zur Verfügung hat. Da es aber ohne automatisierte Mechanismen zur Mustererkennung, die leider nicht zur Verfügung standen, mit extremem Aufwand verbunden ist, Beobachtungsdaten auszuwerten, scheitert

die Beschaffung von Zusatzdaten durch Drehen weiterer Filme etc. an der Langsamkeit des menschlichen Auswertens. Wie also läßt sich die Anzahl von Basissequenzen vermehren, ohne zusätzliche Filme auszuwerten? Die Antwort lautet: indem man aus den Basisdaten zusätzliche Daten ("künstliche Welten") generiert und den Funktionsbereich des Automaten auf Basis plus Zusatzdaten erweitert. Die Schwierigkeit bei dieser Vorgehensweise liegt darin, daß nicht a priori zu erkennen ist, welche Erweiterungen sinnvoll sind in dem Sinne, daß die Erweiterung mindestens auf D5 und D4 korrekt arbeitet und somit nicht schlechter als LASA I funktioniert.

Geschildert werden soll nun die Erweiterung von LASA I durch Spiegeln:

Sei S eine Sequenz. S', die zu S gehörige Spiegelsequenz, entstehe aus S unter Beibehaltung der Reihenfolge der Bilder dadurch, daß jedes Bild von S um diejenige senkrechte Achse gespiegelt wird, die dieses Bild halbiert. LASA II arbeitet bis auf die Antisingularitätsregel genauso wie LASA I, nur daß ihm doppelt so viele Basissequenzen zur Verfügung stehen. Die Antisingularitätsregel erhält den Zusatz, daß Sequenz und zugehörige Spiegelsequenz lediglich als eine Sequenz gezählt werden, weil ihnen in der "Realität" letztendlich nur eine Sequenz zugrunde liegt. (Anm.: erst spiegeln, dann kondensieren.)

In 1.2.2. wurde die Spiegelungsinvarianz von D4 und D5 erzwungen, der Grund dafür ist darin zu suchen, daß LASA II für Spiegelungsinvariante Sequenzen mit LASA I übereinstimmt und somit eine neuerliche Überprüfung dieser Ebenen überflüssig ist.

Auf D3 erzielt LASA II folgende Resultate:

Fall 1 : 7 Vorhersagen, allesamt richtig;	(max. mögl.: 33)
Fall 2 : 1 Vorhersage, richtig;	(max. mögl.: 20)
Fall 3 : 5 Vorhersagen, alle richtig.	(max. mögl.: 20)

Auf D2 überschreitet LASA II die Fehlerschranke.

Die Leistungen von LASA II zusammenfassend läßt sich feststellen, daß LASA II auf den Datenebenen D5, D4 sowie D3 die Fehlerschranke unter- und auf D2 überschreitet, dh. daß bezüglich der vorhandenen Daten sowie der vorgenommenen Filterungen LASA II Ordinalzeitbewegungen partiell vorhersagt, wobei die Fehlerquote dieser Vorhersagen bezüglich des in 1.2.2. eingeführten Fehlermaßes 5% unterschreitet.

1.5. Weiterentwicklungen von LASA II

Dieser Abschnitt beschäftigt sich mit aus Gründen der beschränkten Rechenzeit nur teilweise bzw. noch nicht überprüften LASA - Varianten. Wie im folgenden ausgeführt werden wird, funktionieren die teilweise erprobten Varianten nicht besser als LASA II und bestätigen somit die Auffassung, daß es sich bei LASA II um das vorläufige Endprodukt einer Entwicklung handelt, da LASA II einerseits eine gewisse Funktionsfähigkeit aufweist (siehe 1.4.4.) und andererseits mit LASA II eng verwandte Systeme gegenüber LASA II keine Verbesserung darzustellen scheinen, wobei eine Erprobung einiger hier vorzustellender Modifikationen von LASA II noch aussteht.

Auf Teilen von D3 (Auswahl dieser Teile und Detailresultate siehe 2.1.) wurden die Modelle LASA II - p(0.8/2), LASA - b1 und LASA - b1 - p(0.8/2) überprüft:

LASA II - p(0.8/2) und LASA - b1 - p(0.8/2) sind Versuche, den semistochastischen Ansatz (siehe 1.3.1. und 1.3.2.) mit Hilfe vergrößerter Mengen von Sequenzen wiederzubeleben. Das semistochastische Modell MARP(.80,2) (siehe 1.3.2.) erstellt Vorhersagen unter Zugrundelegung von Übergangswahrscheinlichkeiten, die

aus den relativen Häufigkeiten dieser Übergänge in den Basissequenzen sowie den dem jeweiligen vorherzusagenden Übergang in der vorherzusagenden Sequenz vorangehenden Übergängen geschätzt werden.

Durch Spiegelung erhält man die doppelte Anzahl von Sequenzen, damit einhergehend für nicht spiegelungs-invariante Datenebenen veränderte Übergangswahrscheinlichkeiten (spiegelungsinvariant sind D5 und D4, Gründe hierfür siehe 1.2.2. und 1.4.4.). MARP(.80,2) auf der Grundlage dieser vergrößerten Menge von Sequenzen sei als LASA II - p(0.8/2) bezeichnet.

Aus dieser doppelten Anzahl von Sequenzen erhält man durch im folgenden zu erläuternde " boolesche Transformationen " eine noch weiter vergrößerte Anzahl von Sequenzen, MARP(.80,2) auf der Grundlage dieser Sequenzen sei mit LASA - b1 - p(0.8/2) bezeichnet.

LASA - b1 ist ein Versuch, LASA II durch die Unterdrückung sogenannter "kleiner" Veränderungen, zu verbessern, dh. solcher Veränderungen, die sich lediglich in der Besetzung eines Feldes äußern (daher "b1") und für Vorhersagen irrelevant oder störend sein könnten. Hierfür bieten sich die sog. "quasibooleschen" Transformationen $\odot$ und $\oplus$ an :

Tabelle 14 Quasiboolesche Transformationen

$\odot$	0	1	2
0	0	0	2
1	0	1	2
2	2	2	2

$\oplus$	0	1	2
0	0	1	2
1	1	1	2
2	2	2	2

(Es empfiehlt sich, Veränderungen der Besetzung eines Feldes

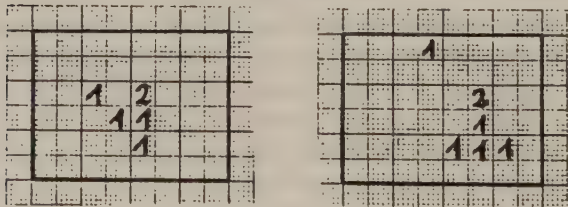
mit "2" nicht als klein zu betrachten, da diese Bewegungen der Nasenwurzel implizieren, die Nasenwurzel jedoch ist als Ursprung des subjektorientierten Koordinatensystems von besonderer Bedeutung.)

Wie aus Tabelle 14 hervorgeht, bieten sich für die Unterdrückung kleiner Veränderungen die "Multiplikation" mit 0 sowie die "Addition" von 1 an.

Es ergeben sich dadurch, daß man auf einem fest gewählten Feld jeder 6 mal 8 - Matrix mit 0 "multipliziert" bzw. "addiert" 2 mal 48 gleich 96 Sequenzen aus jeder LASA II - Sequenz.

Diese neuen Sequenzen können "unzusammenhängende" Matrizen enthalten, d.h. solche, in denen nicht jedes mit "1" oder "2" besetzte Feld mindestens einen horizontalen oder vertikalen mit "1" oder "2" besetzten Nachbarn hat.

Abb. 17 Unzusammenhängende Matrizen

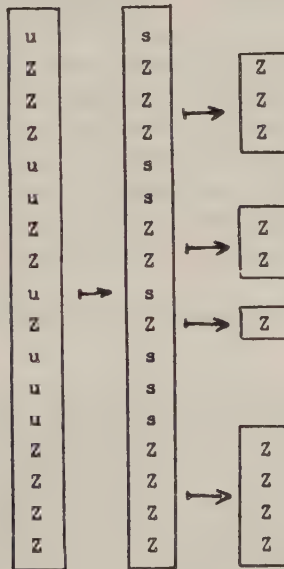


Diese unzusammenhängenden Matrizen sind zur Vorhersage menschlicher Körperbewegungen natürlich wertlos, deshalb tritt anstelle jeder dieser Matrizen die Nachricht "vorläufiges Sequenzende". Hierdurch kann es geschehen, daß eine Sequenz in mehrere Teilsequenzen gespalten und damit die Gesamtzahl der Sequenzen noch weiter erhöht wird.

Beispiel:

Statt einer beliebigen unzusammenhängenden Matrix steht hier "u", anstelle einer beliebigen zusammenhängenden Matrix "z", statt der Nachricht "vorläufiges Sequenzende" "s".

Abb. 18 Spaltung von Sequenzen durch das Auftreten unzusammenhängender Matrizen

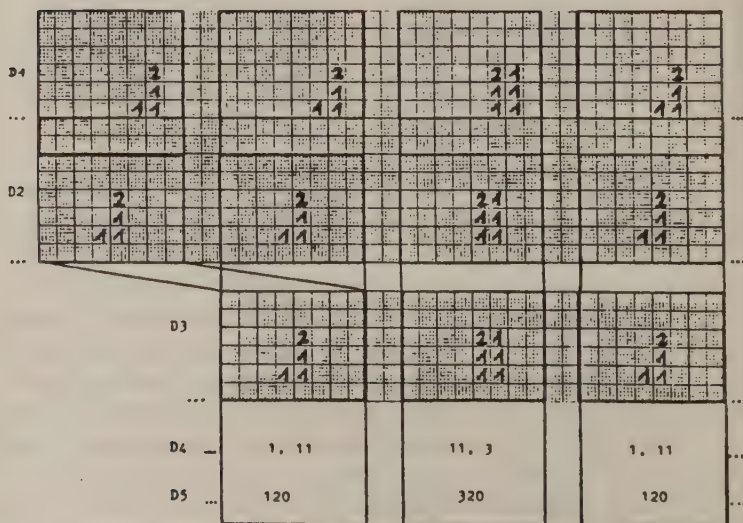


Die Resultate der Modelle LASA II - $p(0.8/2)$, LASA - b1 sowie LASA - b1 - $p(0.8/2)$ bei der Vorhersage von Teilen von D3 können der Tabelle entnommen werden, diese Resultate sind jedoch bei größerem Rechenaufwand als für LASA II keineswegs besser als die Resultate von LASA II und es ist deshalb fraglich, inwieweit sich eine gründlichere Beschäftigung mit den gerade vorgestellten Modellen als lohnenswert erweisen könnte.

Noch nicht erprobt worden sind die folgenden Vorschläge zur Verbesserung der Leistung von LASA II :

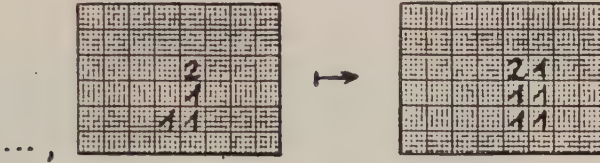
- 1.) Bisher wurden auf jeweils einem Datenniveau, das jeweils einen Aspekt menschlicher Körperbewegungen repräsentieren sollte, verschiedenste Algorithmen überprüft, in Analogie zur Wahrnehmungspsychologie (Marr 1981, S.137/138 : "...the perception of an event or of an object must include the simultaneous computation of several different descriptions of it, which capture diverse aspects of the use, purpose, or circumstances of the event or object.") wäre es interessant, nun einen Algorithmus, zB. LASA II, gleichzeitig auf allen Ebenen zu testen.
Gleichzeitig heißt : anstelle einer Matrix auf einer Datenebene werden Quintupel von Matrizen betrachtet (oder deren Codifikate; siehe 1.3.1. zur Codierung von D5 - Matrizen durch Tripel; für eine D4-Matrix sei die Folge ihrer Spaltensummen ungleich Null als Codifikat gewählt, siehe 1.2.2.)

Abb. 19 Beispiel für Matrizenquintupel



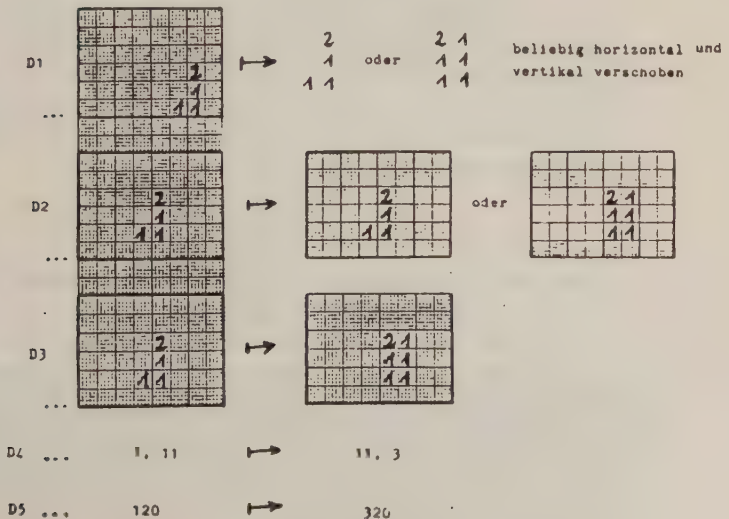
Gesetzt der Fall, LASA II würde nur auf D3 eine Vorhersage der folgenden Gestalt generieren :

Abb. 20 Gegebene D3 - Vorhersage



so ließe sich diese Vorhersage mit Hilfe der hier skizzierten "Parallelmaschine" zu einem Quintupel von Vorhersagen erweitern, die auf den Ebenen oberhalb der Ebene der ursprünglichen Vorhersage allerdings nicht mehr deterministisch wäre; im in Abbildung 19 angeführten Beispiel sähe diese Quintupelvorhersage wie folgt aus :

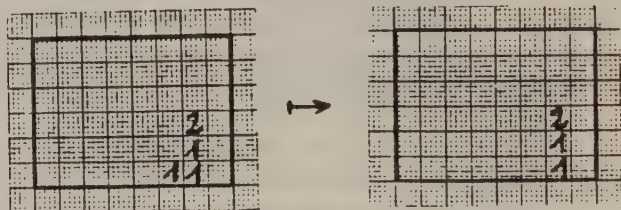
Abb. 21 Quintupelvorhersage auf der Basis einer D3 - Vorhersage



Des weiteren könnte es geschehen, daß eine ursprünglich falsche Vorhersage V auf einer Ebene durch eine mit V inkompatible Vorhersage auf einer anderen Ebene neutralisiert wird (ergeben sich für ein Vorhersagequintupel widersprüchliche Informationen, so sollte die Parallelmaschine die Aussage "keine Vorhersage möglich" treffen) .

Ein Beispiel : Gesetzt der Fall, auf D1 ergäbe sich folgende (falsche) Vorhersage :

Abb. 21 Gegebene (falsche) D1 - Vorhersage



Nimmt man an, auf D5 würde für das Vorwärts-Rückwärts-Kondensat der letzten vor dem Folgepfeil stehenden D1 - Matrix, also 120, die Vorhersage " ...,120 $\rightarrow$ 320 " existieren, so wären diese beiden Vorhersagen inkompatibel, denn die Matrix nach dem Folgepfeil auf D1 hat als Vorwärts-Rückwärts-Kondensat 110 und nicht 320.

Inwieweit sich mit dieser Parallelmaschine tatsächlich die Leistungen des zugrundegelegten Algorithmus', also etwa von LASA II, verbessern lassen, läßt sich gegenwärtig noch nicht absehen, deshalb soll auch auf eine detaillierte Diskussion von eventuellen Sonderregeln und ähnlichem verzichtet werden.

- 2.) Unter Rückbesinnung auf die Definition menschlicher Körperbewegungen als Positionsveränderungen (siehe 1.1.) könnte es sich als nützlich erweisen, dem Aspekt der Veränderung verstärkt Beachtung zu schenken, dieses könnte beispielsweise durch Berechnung und Anwendung sogenannter "Derivatsequenzen" geschehen .

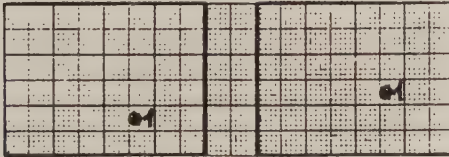
Eine 1-Derivatsequenz ist eine Folge von Vorschriften zur Veränderung von Matrizen, die man aus jeder Basissequenz durch Vergleich jeweils einer Matrix und deren Folgematrix gewinnt.

Durch Anwendung einer 1 - Derivatsequenz bei einer beliebigen Matrix einer beliebigen Basissequenz erhält man jeweils eine neue Basissequenz, die man ähnlich wie bei LASA - b1 (siehe 1.5) auf Zusammenhang prüft und gegebenenfalls aufspaltet.

Abb. 22 Berechnung und Anwendung einer 1 - Derivatsequenz

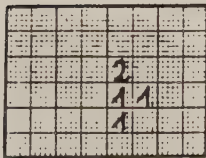


"derivieren"

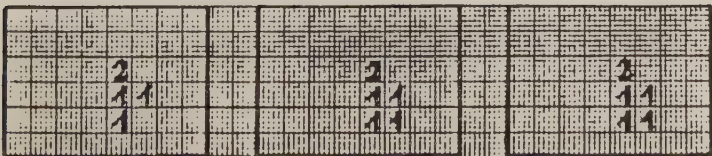


1 - Derivatsequenz

angewendet auf



ergibt



Durch Derivieren von 1-Derivatsequenzen erhält man 2-Derivatsequenzen etc. und durch Anwendung von $(u+1)$ -Derivatsequenzen bei einer Matrix einer u -Derivatsequenz neue u -Derivatsequenzen. Insgesamt läßt sich solcherart eine endliche (wegen endlicher Sequenzlänge) Vielzahl von neuen Basissequenzen erzeugen.

Für praktische Tests dieser beiden gegenwärtig noch nicht erprobten LASA II - Varianten sollte der bei 1.) gegenüber LASA II leicht und bei 2.) wesentlich größere Rechenzeit- und Speicherplatzbedarf beachtet werden; dieser Nachteil verliert jedoch mit fortschreitender Rechnerentwicklung an Bedeutung.

Ob diese LASA II - Varianten auf D1 und D2 unterhalb der 5% - Schranke vorhersagen können und ob sich dann die Anzahl der vorhergesagten Übergänge im Verhältnis zur Gesamtzahl der Übergänge (der Grad der "Totalität" eines Vorhersagemodells) erhöhen läßt, ist gegenwärtig noch nicht absehbar.

Im Rahmen der Psychologie erscheint es sinnvoll, bereits vor der Schaffung eines "perfekten" Modells zur Vorhersage menschlicher Körperbewegungen (falls ein solches überhaupt existieren kann), die Leistungen bestehender Modelle (LASA - Varianten) im Vergleich zu diesbezüglichen menschlichen Vorhersageleistungen zu betrachten, dieses soll im folgenden Kapitel näher ausgeführt werden.

2. VERGLEICH ZWISCHEN MENSCHLICHEN PRÄDIKTIONEN MENSCHLICHER KÖRPERBEWEGUNGEN UND DIESBEZUG- LICHEN PRÄDIKTIONEN MIT LASA II - VARIANTEN

2.1. Planung des Vergleichs unter Bezugnahme auf "radikale" Cognitive Science

In den siebziger Jahren (lt. Simon 1980 sogar schon ab 1956) begann sich aus kognitiver Psychologie und Informatik die sogenannte "Cognitive Science" zu entwickeln, der Standpunkt ihrer Vertreter Pylyshyn (1978a,b ,1980a,b,c , 1981) und Simon (1980) sei hier als "radikale" Cognitive Science bezeichnet. Pylyshyn und Simon "... sehen in der technischen Informationsverarbeitung nicht mehr nur eine Analogie zu psychischen Vorgängen, sondern sie betrachten Rechner und Gehirn als zwei Varianten desselben Untersuchungsgegenstands, nämlich der Funktionsweise 'intelligenter Systeme'. Die beiden Varianten unterscheiden sich, so die Annahme, zwar im physischen Substrat, tun aber prinzipiell dasselbe und können deshalb auch gemeinsam theoretisch modelliert werden." (Neumann, 1982, S.10).

Mit Hilfe einiger Zitate soll der Standpunkt der Vertreter der radikalen Cognitive Science (bei Searle 1980 "strong AI" genannt) weiter verdeutlicht werden :

"... according to strong AI, the computer is not merely a tool in the study of the mind; rather, the appropriately programmed computer really is a mind, in the sense that computers given the right programs can be literally said to understand and have other cognitive states." (Searle, 1980, S.417)

"... mental activity can be viewed literally as the execution of algorithms." (Pylyshyn 1980b, S.115)

"... it is possible to study formal algorithmic processes without regard to how such processes are physically instantiated in an actual device." (ib.)

Zu den betrachteten "intelligenten Systemen" (IS) zählen ebenfalls staatenbildende Insekten und menschliche Organisationen (Simon 1980, S.37).

IS sind durch drei Faktoren gekennzeichnet :

- 1.) Zielerreichung (=Aufgabenerfüllung)
- 2.) Anpassungsfähigkeit an wechselnde Umgebungen
- 3.) Lernen (s.a. Simon 1980,S.35)

(s.a. Simon 1980, S.35; es wird nicht gefordert, daß diese Faktoren voneinander unabhängig sein sollen, ebensowenig wird gefordert, daß sich IS in der Art und Weise gleichen sollen, in der sie eine bestimmte Aufgabe durchführen : "...systems designed primarily to accomplish a particular task ... need not do so in the same way that people would." (Pylyshyn 1978a, S.94))

Die Umgebungen in 2.) sind Problemumgebungen, letzterer Begriff wird wie folgt erläutert :

" The environments we are concerned with, those that demand the exercise of intelligence, are problem environments. They do not present obvious paths to the attainment of a system's goals. Frequently, though not always, problem environments contain large, sometimes immense, numbers of alternatives, only a small fraction of which satisfy the goal requirements."
(Simon 1980, S.39)

Zwischen menschlichen Aktivitäten und entsprechenden Modellen gibt es laut Pylyshyn stets mindestens eine Ebene des Vergleichs : "Whatever the model, there is clearly a level (or a range of levels) of description appropriate for comparison. " (Pylyshyn 1978a, S.95) Diese für Vergleiche geeignete Beschreibungsebene ist nicht materieller Natur. In späteren Arbeiten (Pylyshyn 1980b) scheint die Existenz der geeigneten Vergleichsebene nur noch für kognitive menschliche Aktivitäten behauptet zu werden, kognitive Prozesse scheinen für Pylyshyn solche zu sein, die von Einstellungen und Zielen beeinflußt werden (lt. Keil 1980, S.142).

Eine genaue Eingrenzung des Begriffs "kognitiver Prozess" auf der Grundlage der Arbeiten Pylyshyns ist nicht möglich (Pylyshyn 1980a, S.154 : "...everything might be a cognitive phenomenon ...").

Bei einem Vergleich der Leistungen von Menschen und entsprechend programmierten Computern auf einer (existierenden) geeigneten Ebene tritt laut Pylyshyn sogenannte "starke Äquivalenz" auf, "starke Äquivalenz" ergibt sich aus "schwacher Äquivalenz" (Algorithmen, die ausgehend von gleichen Input - Informationen gleiche Output - Informationen liefern, heißen "schwach äquivalent", s. Pylyshyn 1980b, S.120) durch folgende Zusatzforderung : "... there exists some tight structural correspondence between the internal essentials of the algorithm and the internal essentials of human cognition ..." (lt. Colby 1980, S.134)

Andernorts scheint Pylyshyn zuzugeben, daß diese "starke Äquivalenz" gegenwärtig nicht widerlegbar ist : "... strong equivalence is more than we can hope for at present..." (Pylyshyn 1980b, S.161)

Die nicht nur bei der Behauptung starker Äquivalenz zu Tage tretende mangelnde Widerlegbarkeit der Thesen der radikalen Cognitive Science (siehe auch Arbib 1978 "... blatant in its implicit rejection of testability.", S.100) erzwingt eine Beschränkung auf Plausibilitäts-erwägungen (Neumann 198?, S.15 : " Gegenwärtig handelt es sich ... bei dieser stärksten Variante einer 'computational theory of mind' noch um ein programmatisches Unternehmen, das vorerst nur aufgrund von Plausibilitäts-erwägungen beurteilt werden kann.").

Im vorliegenden Abschnitt soll belegt werden, daß sich LASA II und auch jede der dargestellten Modifikationen von LASA II als intelligentes System betrachten läßt, anschließend soll die Darstellung eines Verleichts zwischen menschlichen und maschinellen Prädiktionsleistungen erfolgen, dieser Vergleich wurde unter Voraussetzungen durchgeführt, die das Erkennen einer zumindest schwachen

Äquivalenz von Körperbewegungen vorhersagenden Menschen und LASA II - Varianten zulassen sollten.

(Die Deutung der sich in diesem Vergleich ergebenden Resultate im Rahmen der existierenden Kritik an radikaler Cognitive Science soll in Kapitel 3 vorgenommen werden.)

Zunächst jedoch gilt es zu zeigen, daß LASA II als die drei Kriterien für intelligente Systeme erfüllend betrachtet werden kann :

1.) Zielerreichung gleich Aufgabenerfüllung ist

trivialerweise davon abhängig, wann man die gestellte Aufgabe als gelöst ansieht :

totale Prädiktion menschlicher Körperbewegungen unter anderen als stark restriktiven Laborbedingungen (siehe 1.1.) ist gegenwärtig weder durchgeführt worden noch als durchführbar zu erkennen, es sei denn, man wäre bereit, extreme Fehlerquoten in Kauf zu nehmen (siehe Tabelle 8, MARP(>.1) mit einer Fehlerquote von 56%, der mit 16 von 18 möglichen Vorhersagen totaler Bewegungsprädiktion am nächsten kommt).

Partielle Prädiktionen sind im Rahmen der vorliegenden Arbeit mit LASA II durchgeführt und auf den Datenebenen D2 - D5 bezüglich einer Fehlerschranke von 5% überprüft worden. Auf den Ebenen D5 - D3 wurde die 5%-Schranke unter-, auf D2 überschritten (siehe 1.4.4.), dh. :

Wenn man partielle Vorhersage menschlicher Körperbewegungen auf D5 (bzw. D4, bzw. D3) mit einer Fehlerquote unterhalb 5% als Ziel betrachtet, ist dieses Ziel erreicht worden (analog auf D2 nicht erreicht und auf D1 noch nicht einmal versucht).

Da es nicht abzusehen ist, wann die Konstruktion von Algorithmen gelingen wird, die auf D2 und D1 die angestrebten Resultate sicherstellen können, die also, allgemeiner ausgedrückt, Realzeitvorhersagen menschlicher Körperbewegungen bzw. subjektorientierte diesbezügliche Realzeitvorhersagen unterhalb der 5%-Schranke gestatten, soll subjektorientierte Ordinalzeitprädiktion unterhalb dieser Schranke (im Hinblick auf den in 2.2. darzustellenden Vergleich) als vom jeweiligen Algorithmus zu erreichendes Ziel betrachtet werden.

2.) Anpassungsfähigkeit an wechselnde Umgebungen, die laut Simon 1980 Problemumgebungen sind, ist gewährleistet, wenn man, wie in 1.2.2. bereits angesprochen, jede vorherzusagende Sequenz als Problemumgebung betrachtet und "Anpassungsfähigkeit an wechselnde Umgebungen", dh. "Operieren auf verschiedenen Problemumgebungen", als "Vorhersagen verschiedener Sequenzen" deutet.

3.) Lernen läßt sich unter Bezugnahme auf Oerter 1967 und die in 1.2.2. vorgenommene Interpretation dessen Definition von Lernen über Verhaltensveränderungen bei Datenzuwachs erschließen. Für LASA - Varianten bedeutet "Verhaltensveränderung" "veränderte Vorhersage von Übergängen", "Datenzuwachs" wird durch die sukzessive Betrachtung der Fälle 1 - 3 gewährleistet (Definition in 1.2.2. : in Fall 1 sind die Sequenzen 1 - 9 Basissequenzen, in Fall 2 1 - 10, in Fall 3 1 - 11 .). Die Tatsache, daß die LASA - Varianten im soeben dargestellten Sinne lernen, kann aus Platzgründen hier nicht explizit bewiesen werden, ist aber aus der in Abb. 16 dargestellten Funktionsweise der LASA - Algorithmen unschwer einzusehen.

Nunmehr stellt sich die Frage, wo eine "zum Vergleich geeignete Beschreibungsebene" in bezug auf die Körperbewegungen von Menschen vorhersagende Menschen sowie LASA - Algorithmen zu finden ist :

Die in der Literatur vorkommenden Untersuchungen über durch Menschen vorgenommene Prädiktionen der Bewegungen beliebiger Objekte weisen darauf hin, daß bei als "natürlich" empfundenen Aufgabestellungen deutlich bessere Prädiktionleistungen erzielt werden als bei "abstrakt" erscheinenden ("natürlich" bzw. "abstrakt" seien hier als durch den alltäglichen Sprachgebrauch definiert betrachtet); Beispiele hierfür sind etwa Ebbesen, Parker und Konečni 1977 (Untersuchung über Linksabbiegen im Straßenverkehr mit einem Tischmodell sowie in der Realen Situation) oder auch Runeson 1974 und 1975 (eine als "natürlich" empfundene Bewegungsfunktion wurde ermittelt und im Folgeversuch wesentlich besser vorhergesagt als andere, z.B. konstante Bewegungsfunktionen).

Es erscheint als plausibel, anzunehmen, daß zwischen nahezu perfekter, "natürlicher" Alltagsprädiktion menschlicher Körperbewegungen ("Although it has its errors and limitations, we arrive at staggeringly successful ... predictions in ordinary life.", Colby 1980, S.135) und den Leistungen von LASA II (Vorhersageanteil auf D3 lediglich zwischen 5 und 25 %) kein sinnvoller Vergleich möglich ist.

Auf der anderen Seite erscheint es als wenig sinnvoll, Menschen Codifikate von Bewegungen vorhersagen zu lassen, die den betreffenden Versuchspersonen nicht die Herstellung eines Zusammenhangs zu Darstellungen menschlicher Körperbewegungen gestatten, die ihnen vertraut sind (Beispiel hierfür ist D5, es ist anzunehmen, daß LASA II auf dieser Ebene bessere Resultate erzielt als Menschen).

Wenn man nicht an dieser Stelle die Annahme nichttrivialer Vergleichbarkeit menschlicher und maschineller Prädiktion menschlicher Körperbewegungen verwerfen will, gilt es einen Kompromiß zwischen den beiden dargestellten Extremen zu finden. Hierfür bieten sich zunächst zwei Wege an, der erste führt über Beschränkungen von Computern berücksichtigende Vereinfachung von für Menschen "natürlichen" Situationen zu unübersehbaren Komplikationen (Welche Beschränkungen? Welche Vereinfachungen? Wie soll die Messung der Prädiktionen erfolgen?), der zweite über "abstrakte" Problemstellung (z.B. Vorhersage von Matrizen) vermutlich zu mit der Präsentation einer großen Anzahl nicht eindeutig klassifizierbarer Informationen einhergehenden Verarbeitungsproblemen (z.B. Wahrnehmungs-, Gedächtnis- und Zeitprobleme).

Da es, wie im folgenden ausgeführt wird, möglich zu sein scheint, den Einfluss dieser Probleme zu minimieren und der dargestellte zweite Weg bei der praktischen Durchführung des Vergleichs erhebliche Vorteile gegen-

über dem ersten aufweist, soll in dem in 2.2. zu schildernden Vergleich zu einer Präsentation "abstrakten" Materials als Grundlage für Vorhersagen gegriffen werden, wobei unter den Ebenen D1 - D5 D1 am "natürlichsten" zu sein scheint.

Zunächst jedoch muß auf die intendierte Minimierung der angesprochenen Verarbeitungsprobleme näher eingegangen werden:

"Zeitprobleme" steht für "durch Beschränkung der zur Vorhersage zur Verfügung stehenden Zeit induzierte Leistungsveränderungen gegenüber Vorhersagen bei (theoretisch) unbeschränkt zur Verfügung stehender Zeit", der Einfluß dieser Zeitprobleme läßt sich in kanonischer Weise dadurch minimieren, daß bei der Durchführung des Prädiktionsvergleichs zwischen Menschen und Algorithmen von den Versuchspersonen nicht die Einhaltung irgendwelcher die Dauer des Versuchs begrenzenden Vorschriften gefordert wird.

"Gedächtnisprobleme" steht für "Leistungsveränderungen im Zusammenhang mit Speicherung von Informationen und Zugriff darauf gegenüber (theoretisch) unbeschränkter Speicherung und beliebigem Zugriff"; diese sollen dadurch minimiert werden, daß es während der Durchführung des Vergleichs den Versuchspersonen gestattet wird, jederzeit auf sämtliche Basissequenzen zurückzugreifen, sowie auf die der vorherzusagenden Matrix in der vorherzusagenden Sequenz vorangehenden Matrizen (die Art und Weise dieses Rückgriffs ist natürlich vom Speicherungs- und Darbietungsmodus der Sequenzen abhängig).

"Minimierung von Wahrnehmungsproblemen" bedarf einer ausführlicheren Erläuterung :

Im vorliegenden Zusammenhang kann es als "Wahrnehmungsproblem" betrachtet werden, wenn die Gesamtheit der im dargebotenen Material enthaltenen Informationen (Ziffern in den Feldern von Matrizen) in verfälschter oder unvollständiger Form von den Versuchspersonen aufgenommen wird. In diesem Kontext scheint eine filmische oder andere Darbietung mit kurzer und nicht von den Versuchspersonen regulierbarer Darbietungszeit nicht allzu geeignet zu sein, da es nicht um Wiedererkennen von sich in Realzeit verändernden Punktmustern als menschliche Bewegungen repräsentierend geht (wie z.B. in Johansson 1973, 1975), sondern um möglichst vollständiges Erfassen sämtlicher in jeder Matrix enthaltenen Informationen (hier wird nicht davon ausgegangen, daß sich mit Vollständigkeit der Informationen etwa die menschliche Prädiktionsleistung verbessert, sondern auf eine den Umständen entsprechend maximale Vergleichbarkeit der den Menschen und dem Rechner zugeführten Ausgangsinformationen für die Prädiktionen abgezielt).

Mit einer statischen Präsentation des Materials sind Probleme der Formwahrnehmung verbunden. Laut Haber & Hershenson 1980, Kap. 15 sind dieses beispielsweise Orientierung, Organisation der Tiefe des Bildes und Bedeutung der Form. Die mit diesen Problemen einhergehenden Verzerrungen der Informationsaufnahme scheinen bei den vorliegenden Daten nicht von bedenklichem Umfang zu sein: Orientierung wird dadurch gewährleistet, daß die Begrenzungslinien jeder Matrix einen Rahmen bilden, dessen rechte und linke Seite die Richtung der Schwerkraft symbolisieren; die Organisation der Tiefe des Bildes entfällt, da die einzelne Matrix nur zweidimensionale Informationen enthält, und die Bedeutung der Form wird durch Erläu-

terungen zu Beginn des Versuchs weitestmöglich erhellt. Wegen der offenbar geringen Verzerrungen der Informationsaufnahme bei statischer Präsentation des Materials und wegen der Einfachheit des Rückgriffs auf Informationen soll bei dem unter 2.2. darzustellenden Vergleich eine statische Präsentation der Daten gewählt werden.

Wie bereits eingangs dieses Abschnitts zum Aspekt der Zielerreichung ausgeführt, genügt LASA II dieser Bedingung auf D5, D4 und D3. D5 und D4 sind offenbar für den geplanten Vergleich zu "abstrakt" und daher ungeeignet, demzufolge sollte der Vergleich Prädiktionen auf D3 erfassen.

Mit Hilfe eines in 2.2. darzustellenden Auswertungstricks können ohne größeren Mehraufwand D2-Prädiktionen als D3-Prädiktionen ausgewertet werden und bei Beschränkung auf Vorhersagen in Sequenz 10 die vorhandenen Informationen über das Verhalten von LASA II auf D2 bei der Vorhersage von Sequenz 10 genutzt werden. Dieser D2-Vergleich hat ebenso wie die zusätzlich erfolgende Evaluation des Modells ID (siehe 1.2.2.) lediglich "inoffiziellen", explorativen Charakter und ist nicht Gegenstand von Deutungen im Rahmen radikaler Cognitive Science, da LASA-Varianten auf D2 das Kriterium der Zielerreichung nicht erfüllen.

2.2. Durchführung, Auswertung und Resultate des Vergleichs

Um die Geduld der Versuchspersonen nicht überzustrapazieren, wurde die Anzahl der in Sequenz 10 vorherzusagenden Übergänge ("Items") auf 18 beschränkt und (im Interesse der Vergleichbarkeit nicht nur von LASA II auf D2 korrekt vorhergesagte Items aufgenommen, sondern) durch Auslosung nach folgendem Schlüssel zum Vergleich heranzuziehende D2-Items gewonnen : 12 Items, bei denen LASA II mit

"keine Vorhersage möglich" antwortet, 3 Items mit falscher und 3 Items mit richtiger Vorhersage.

Zur Verdeutlichung der Testbedingungen ist die Sequenz 10 auf D2 in Anhang 1.1. vollständig wiedergegeben.

Je einer von dreißig Versuchspersonen im Alter von 17 bis 51 Jahren, 17 davon weiblich, 13 männlich, wurden in Sequenzen 1 bis 9 auf der Datenebene D1 präsentiert und dem (der) Teilnehmer(in) erläutert, daß es sich um aus Filmen gewonnene Bilder von menschlichen Körperbewegungen handle, mit denen er/sie sich zum Zwecke der Vorhersage vertraut machen solle, und auf die er/sie später nach Belieben zurückgreifen könne, wobei zeitliche Limitationen nicht bestünden.

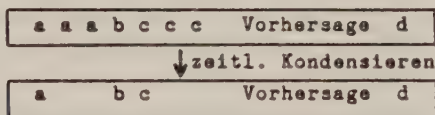
Vor Versuchsbeginn wurden die Matrizen der Sequenz 10 nebeneinander auf einen Papierstreifen geklebt. Dieser Streifen, der sich verdeckt in einem Behälter befand, wurde bei der Durchführung des Versuchs bis unmittelbar vor die vorherzusagende Matrix aus dem Behälter herausgezogen und die Versuchsperson aufgefordert, auf einen karierten Testbogen ihre Vorhersage zu zeichnen, wobei die in den Matrizen verwendete Notation ("⊗" für Nasenwurzel, "x" für beliebige andere Körperregionen) benutzt werden sollte oder ein Fragezeichen zu Papier zu bringen, falls ihr/ihm dieses nicht möglich sein sollte.

Die Prädiktionen der Versuchspersonen spielen sich auf D2-Niveau ab, hierbei gibt es drei Typen von Vorhersagemöglichkeiten :

- 1) die vorhergesagte Matrix und die letzte der präsentierten Matrizen sind nach Subjektkondensierung identisch;
- 2) analog "nicht identisch";
- 3) "x" für "es ist keine Vorhersage möglich", diese Antwort wird nicht ausgewertet.

Bei der Transformation von D2 zu D3 durch zeitliches Kondensieren (siehe 1.2.2.) gehen aufeinanderfolgende identische Matrizen von D2 in eine einzige Matrix von D3 über. D2-Vorhersagen des Typs 1 verlieren auf D3 ihren prädiktiven Charakter und sind nicht auswertbar. D2-Vorhersagen des Typs 3 bleiben nicht auswertbar. Eine D2-Vorhersage des Typs 2 geht durch zeitliches Kondensieren in eine D3-Vorhersage über.

Abb. 23 Beispiel für die Deutung von D2 - ,
als D3 - Vorhersagen



Auf diese Weise wird die D3-Auswertung mit Hilfe der gewohnten Δ - und B - Funktionen ermöglicht. Der Vergleich, der in Tabelle 15 und 16 festgehaltenen Prädiktionsleistungen von Menschen und diversen Algorithmen verrät, daß LASA II auf D2 bezüglich B ungefähr die gleiche Leistung erbringt, wie Menschen (siehe Abb. 25 mit $B/\text{Item} = .50$ für LASA II) und bezüglich Δ etwas besser abschneidet (siehe Abb. 24 mit $\Delta/\text{Item} = 7$ für LASA II). Diese Ergebnisse werden jedoch trivialisiert durch die überlegenen Leistungen der "identischen Maschine" ID ($B/\text{Item} = .28$, $\Delta/\text{Item} = .3$), die besser ist als jeder der Versuchsteilnehmer.

Bei dem für die Zwecke der vorliegenden Arbeit wesentlichen D3-Vergleich (siehe Tabelle 16) fällt zunächst lediglich auf, daß LASA II mindestens ebensogut wie die getesteten LASA-Varianten funktioniert und somit die in 1.4.4. aufgestellte Behauptung belegt wird, daß LASA II das vorläufige Endprodukt einer Entwicklung darstellen würde. Zum eigentlichen Ziel des Vergleichs, Plausibilitätserwägungen zugunsten oder zuungunsten schwacher Äquivalenz (siehe 2.1.) zu induzieren, muß bemerkt werden, daß kaum nichttriviale Gemeinsamkeiten zwischen der durchgeführten menschlichen und maschinellen Prädiktion festgestellt werden können.

Zunächst kann festgestellt werden, daß Menschen trotz des Vorhandenseins der Antwortkategorie "keine Vorhersage möglich", deutlich dazu neigen, die Mehrzahl der Items zu beantworten und somit eine im Vergleich zu LASA-Varianten stark erhöhte Anzahl an Vorhersagen hervorbringen.

Die relativen Fehler Δ und $\mathcal{B}$ dieser Vorhersagen übersteigen die Fehlerquote der LASA-Varianten mit Ausnahme derer von LASA -b1-p(0:8/2) deutlich.

Als einzige "Gemeinsamkeit" zwischen menschlichen und maschinellen Prädiktionsleistungen kann bemerkt werden, daß die von LASA-Varianten beantworteten Items als "leicht" für menschliche Versuchspersonen eingestuft werden können, d.h. deren " $\mathcal{B}$ -Fehler pro Antwort" in der Verteilung der " $\mathcal{B}$ -Fehler pro Antwort" am unteren Ende angesiedelt sind.

Die Deutung dieser Ergebnisse in bezug auf radikale Cognitive Science soll im folgenden Kapitel erfolgen.

Tabelle 16

D3 - Auswertung

A	Personen																														Σ Anzahl	Δ-Polier Σ pro Antwort	Σ-Polier pro Antwort	Lsg. II. pro II.1	Lsg.-el. pro II.1	Lsg.-el. pro II.2
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30						
1	0	5	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
2	0	5	0	0	2	0	0	4	1	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
3	2	1	6	3	1	3	1	1	1	4	6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
4	0	1	1	2	0	2	0	0	2	0	2	3	4	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
5	0	1	0	3	1	1	1	0	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
6	2	0	6	2	2	2	0	0	1	2	3	0	5	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
7	4	2	2	0	6	5	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
8	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
9	0	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
Σ	26	24	20	16	8	11	32	12	16	10	29	5	7	40	43	51	24	21	30	36	21	9	9	17	16	54	32	9	9	0						
Σ Anzahl	10	14	11	12	9	6	16	0	10	9	15	6	0	16	14	10	15	11	12	0	12	9	0	0	16	16	11	0	0	0						
Σ Lsg.	10	17	25	30	20	18	23	15	16	13	19	0	9	30	35	30	32	30	32	30	30	10	49	43	37	34	30	13	13	0						
Σ Lsg.-el.	40	44	55	75	50	67	93	63	50	44	67	100	50	75	72	54	55	62	73	75	60	42	44	90	67	44	60	31	30	0						

(Bundung anhang B 2)

Abb. 24 Verteilung des Δ - Fehlers bei D2 - Auswertung

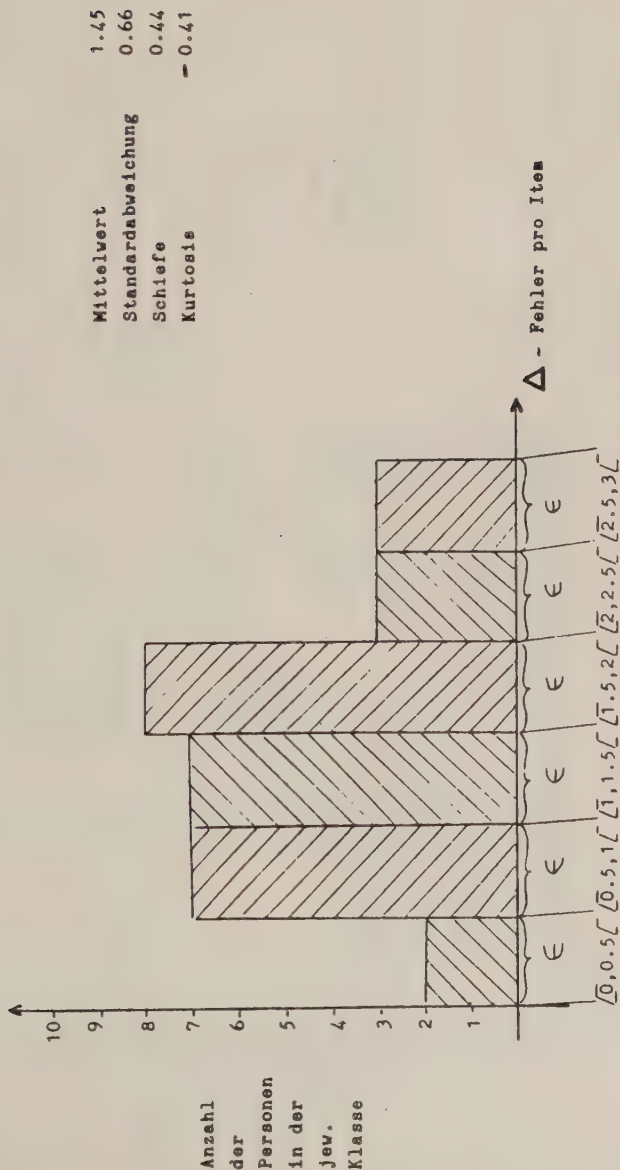


Abb. 25 Verteilung des B - Fehlers bei D2 - Auswertung

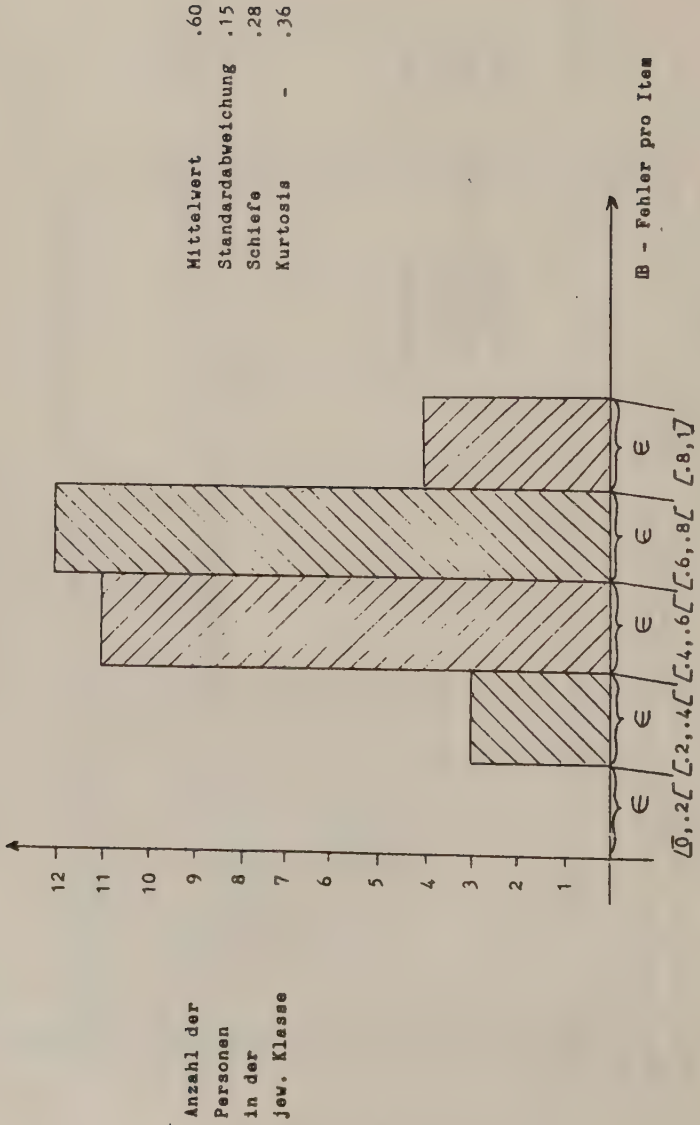


Abb. 26 Verteilung des Δ - Fehlers bei D3 - Auswertung

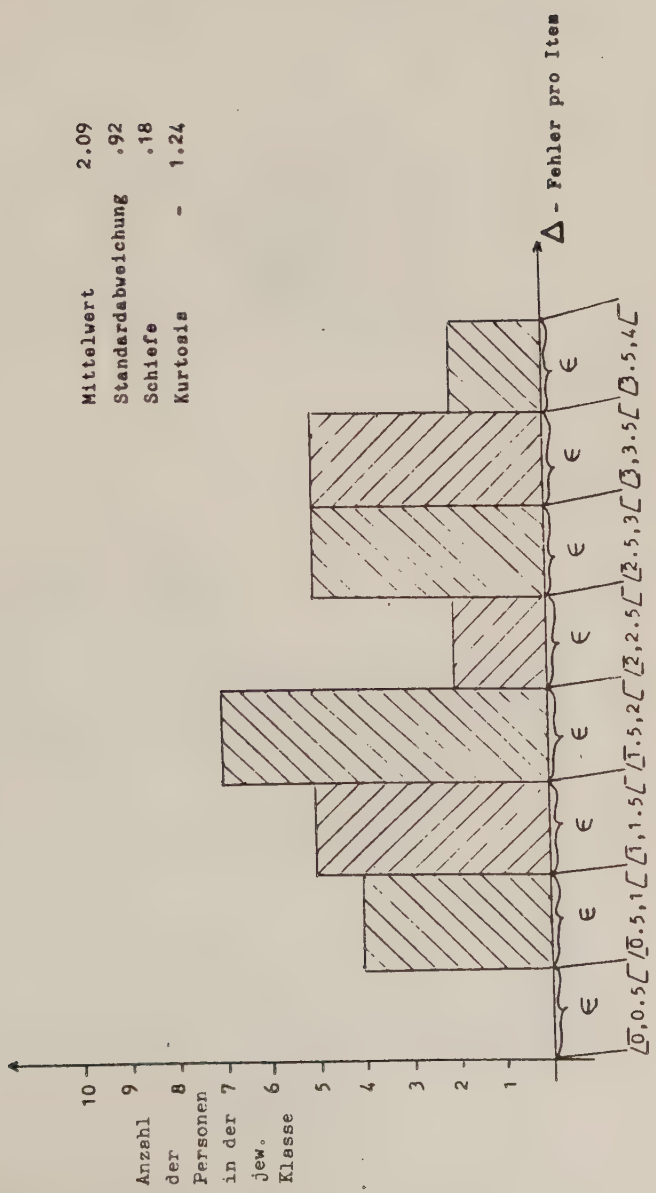


Abb. 27 Verteilung des B - Fehlers bei D3 - Auswertung

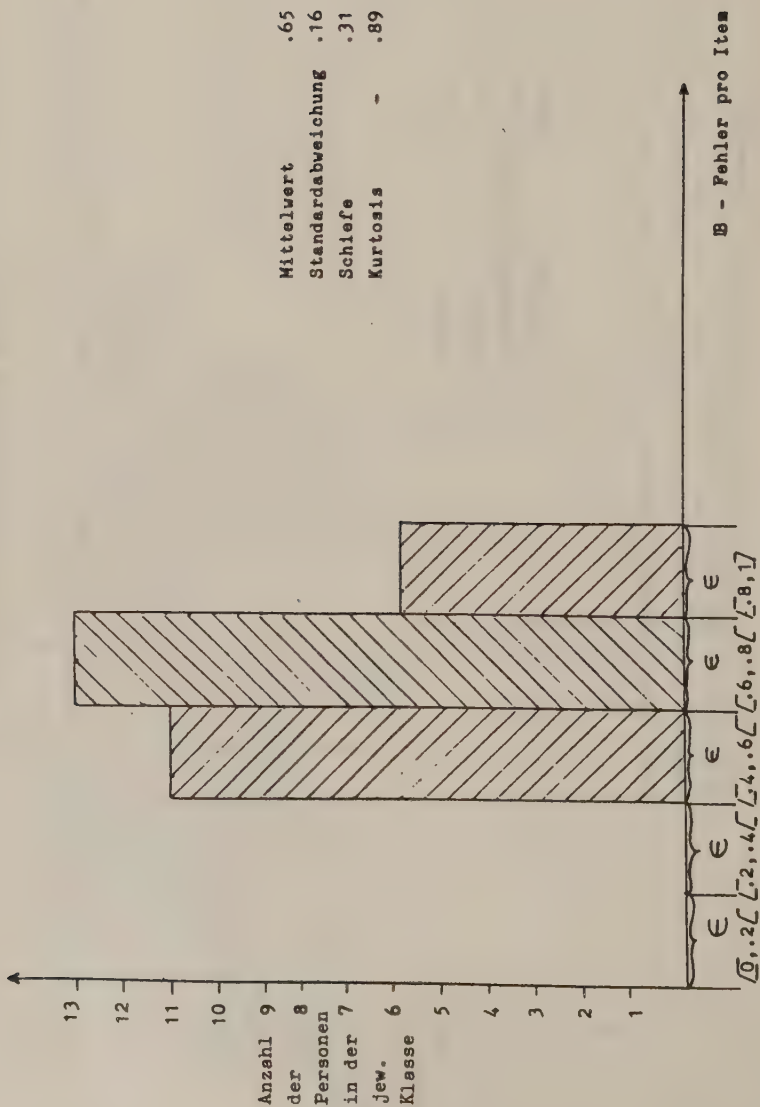


Tabelle 17 Korrelationen von Δ und B über
die Werte der Spaltensummen auf D2 und D3

	D2 B	D3 Δ	D3 B
D2 Δ	0.82693	0.80380	0.65205
D2 B		0.58996	0.67229
D3 Δ			0.69691

3. SCHLUSSDISKUSSION

Im ersten Kapitel der vorliegenden Arbeit wird die Entwicklung eines Algorithmus LASA II zur Vorhersage menschlicher Körperbewegungen dargestellt; im zweiten Kapitel wird der Versuch geschildert, auf der Basis von Plausibilitätserwägungen eine geeignete Ebene des Vergleichs zwischen menschlichen und mit Hilfe von LASA-Varianten vorgenommenen maschinellen Prädiktionen zu finden. Laut Pylyshyn (1878a, S.95) existiert eine solche Ebene stets, bei der Prädiktion menschlicher Körperbewegungen kann es aber weder die vollständig "natürliche" Ebene sein (Vergleich von menschlichen Alltagsprädiktionen mit bruchstückhaften maschinellen Prädiktionen) noch die vollständig "abstrakte" Ebene (Vergleich menschlicher und maschineller Prädiktion auf der Grundlage maschinenfreundlicher Binärcodes). Auf einer dazwischenliegenden Ebene (Präsentation abstrakten Materials unter Minimierung menschlicher Verarbeitungsprobleme, siehe 2.1.) muß festgestellt werden, daß sich bei für Mensch und Maschine gleichen Eingangsinformationen Resultate ergeben (siehe Tab. 16), die kaum Gemeinsamkeiten erkennen lassen, geschweige denn identisch sind, wie es bereits bei der Behauptung schwacher Äquivalenz gefordert wird. Starke Äquivalenz, dh. auf identische Art und Weise erzielte identische Resultate, scheint auf der Basis der Ergebnisse des vorgenommenen Vergleichs noch weniger plausibel zu sein.

Die in der vorliegenden Arbeit dargestellten empirischen Belege zuungunsten der Behauptung schwacher bzw. starker Äquivalenz fügen sich in das diesbezügliche in der Literatur vorherrschende Meinungsbild ein, hierzu sei stellvertretend Lenat zitiert ("At any nontrivial level, man and machine are not doing X in the same way." Lenat 1978, S.109) sowie auf Neumann (198?) hingewiesen, dessen Zweifel

an der Bedeutung radikaler Cognitive Science für die heutige Psychologie auch im Hinblick auf die in der vorliegenden Arbeit dargestellten Resultate als durchaus berechtigt betrachtet werden können.

Im Rahmen der mangelnden Widerlegbarkeit radikaler Cognitive Science (siehe 2.1.) ist es möglich, eine Reihe von Bedenken gegen die in der vorliegenden Arbeit vorgenommenen Plausibilitätserwägungen vorzubringen, man denke etwa an "LASA II ist kein intelligentes System, da es die Aufgabe, 'wirkliche' Bewegungen vorherzusagen, nicht erfüllt" oder an "Die gewählte Vergleichsebene ist nicht die existierende geeignete Vergleichsebene gewesen". Der erste Einwand hat zweifelsohne eine gewisse Berechtigung, da LASA II auf den Ebenen D2 und D1 tatsächlich nicht adäquat funktioniert, LASA II ist durch die Aufgabenerfüllung auf D3 ein intelligentes System im Sinne des gegenwärtig außerhalb von Großprojekten Realisierbaren. Futuristische Forderungen unter Vernachlässigung des gegenwärtigen wissenschaftlichen und technischen Entwicklungsstandes können nur in begrenztem Umfang als Argument anerkannt werden.

Im Prinzip nicht anerkannt werden kann der zweite Einwand, denn die Verwerfung einer Existenzaussage ("Es gibt eine geeignete Vergleichsebene") müßte durch Überprüfung aller Vergleichsebenen, also unendlich vieler erfolgen, dieses ist in der Praxis nicht möglich.

Dennoch erscheint es im Rahmen einer Schlußdiskussion nicht als unangemessen, Überlegungen darüber anzustellen, inwieweit das festgestellte Fehlen schwacher Äquivalenz möglicherweise von der Durchführung mitbeeinflusst worden sein könnte und inwieweit sich Erklärungen für den deutlichen Leistungsunterschied zwischen menschlichen Prädiktionen im vorliegenden Vergleich und in Alltagssituationen finden lassen.

Vor diesen Betrachtungen über den hier vorliegenden speziellen Vergleich sei auf die in der Literatur auftretenden zwei Hauptrichtungen der Erklärungen für die Verschiedenheit menschlicher und Automaten zugeschriebener kognitiver Fähigkeiten hingewiesen:

- 1.) Die von Searle vertretene Auffassung, daß die Verschiedenheit von Mensch und Computer wesentlich auf der Unfähigkeit des Rechners, zu "verstehen" beruht ("... the programmed computer understands what the car and the adding machine understand, namely, exactly nothing." Searle 1980, S.419)

Diese Auffassung induziert eher philosophische Fragestellungen : "What is understanding ? What is consciousness ? What is meaning ? What does it mean to think ?" (Schank 1980, S.446)

- 2.) Die von Dreyfus und von Norman vertretene Auffassung, daß die kognitiven Aktivitäten des Menschen untrennbar mit dessen biologischer und sozialer Basis verbunden sind ("... since intelligence must be situated it cannot be separated from the rest of human life." (Dreyfus 1981, S.203); "Progress ... must, it seems, either wait until we have captured in an abstract symbolic description much of what human beings implicitly know about walking and eating by having a body, or else until computers no longer have to be told what it is to walk and eat, because they have human bodies and appetites themselves!" (Dreyfus 1981, S.177); "The human is a physical symbol system But the human is more : The human is an animate organism, with a biological basis and an evolutionary and cultural history. Moreover, the human is a social animal, interacting with others, with the environment, and with itself." (Norman 1980, S.244))

In beiden Fällen scheint sich die Unzufriedenheit mit den Thesen der radikalen Cognitive Science im Sinne einer Betonung anthropozentrischer Forschung auszuwirken.

Für Folgeuntersuchungen auf der Basis des hier vorgestellten Vergleichs menschlicher und maschineller Bewegungsprädiktionen könnte es sich als interessant erweisen, die "Antwort-sicherheit" der Versuchspersonen zu messen und nur die-jenigen Antworten auszuwerten, die in einer hypothetischen Kategorie "völlig sicher" lägen. Es erscheint möglich, solcherart die Vergleichbarkeit mit den Computerprädiktionen zu erhöhen, da der den Berechnungen zugrundeliegende Algorithmus dahingehend korzipiert ist, möglichst wenig Fehler zu machen (vergleiche Tabelle 15 und 16).

Des weiteren erscheint es als durchaus sinnvoll, unterschiedliche Repräsentationen der Bewegungsinformationen in Hinblick auf deren Einfluß auf die menschliche Bewegungsprädiktion zu untersuchen. Sollte man geneigt sein, der Auffassung von Hofster und Lee (Hofster & Lee 1985, Seite 231: "... the closest you get to the movements themselves is when you model them on a two dimensional sheet of paper.") zu folgen, könnte man unter Beibehaltung der zweidimensionalen Repräsentation beispielsweise zu einer weniger groben Rasterung jedes Bildes übergehen, d. h. die Anzahl der Eingänge jeder Matrix erhöhen und socherart die Ähnlichkeit der durch Matrixeingänge ungleich Null dargestellter menschlicher Körper mit den Schatten menschlicher Körper und somit menschlichen Körpern als solchen zu vergrößern.

Die Anzahl möglicher Muster, die als menschlicher Körper in Matrixdarstellung betrachtet werden können, steigt mit Erhöhung der Anzahl der Matrixeingänge in ungeklärtem Ausmaß an (Lappin 1985, Seite 80, schlägt $\frac{m!}{(m-n)!}$ als Anzahl vor sich ergebenden Mustern vor, wobei m die Anzahl möglicher Lokationen von n Substrukturen mit $m > n$ ist. Offen bleibt die Frage, was als Substruktur eines menschlichen Körpers in Matrixdarstellung zu betrachten ist).

Eine Abkehr von der mathematisch einfachen Metrizendarstellung scheitert die allerdings auf das visuelle System bezogenen Beobachtungen von Johansson (Johansson 1985, Seite 47) nahezulegen: "What is easy for the visual system is complex for our mathematics and what is mathematically simple is hard for the visual system."

"Natürliche" menschliche Bewegungsprädiktion ist in einer überwiegenden Mehrzahl von Fällen mit Handlungen verbunden, eine diesbezüglich relevante Darstellung menschlicher Bewegung müßte laut W. H. Warren jr und J. A. S. Kelso (Warren & Kelso 1985, Seite 270 ff) erstens Informationen enthalten, die für die räumlichen, zeitlichen und energetischen Erfordernisse der Handlung charakteristisch sind und zweitens Informationen, die in Bezug auf das metrische System des handelnden Individuums skaliert sind (also in Bezug auf dessen Augenhöhe, Schrittlänge usw.).

Welche Meßprobleme eine derartige natürlichere Darstellung mit sich brächte, läßt sich gegenwärtig noch nicht absehen. Ähnlich ungeklärt ist die Frage, inwieweit Informationsfluß, der im Hinblick auf menschliche Bewegungsprädiktionen möglicherweise relevant ist (z.B. Signale aus dem vestibulären System, siehe Haber & Hershenson 1980, Seite 213), einer Computerverarbeitung zugänglich gemacht werden kann.

Zusammenfassend kann festgestellt werden :

Nachdem auf der gewählten relativ "abstrakten" Vergleichsebene die Unterschiede zwischen Mensch und Maschine bei der Vorhersage menschlicher Körperbewegungen gegenüber möglichen Gemeinsamkeiten klar überwogen haben, ist es anzunehmen, daß unter "Alltagsbedingungen" diese Unterschiede noch stärker zu Tage treten würden.

Auf der Grundlage der in 2.2. vorgestellten Resultate ist es naheliegend, die Bedeutung der im Rahmen der radikalen Cognitive Science postulierten Gemeinsamkeiten (siehe 2.1.) zwischen Menschen und entsprechend programmierten Maschinen bei der Prädiktion menschlicher Körperbewegungen in Zweifel zu ziehen.

4. LITERATURVERZEICHNIS

Adams, J.A. (1977). Feedback Theory of how Joint Receptors Regulate the Timing and Positioning of a Limb. Psychological Review, 84, 504-523

Adams, J.A. & Goetz, E.T. & Marshall, P.H. (1972). Response Feedback and Motor Learning. Journal of Experimental Psychology, 92, 291-297

Aleshinsky, S.Y. (1978). Human Locomotion in Space Analyzed Biomechanically Through a Multi-Link Chain Model. Journal of Biomechanics, 11, 101-108

Arbib, M.A. (1978). The Halting Problem for Computational Cognitive Psychology. The Behavioural and Brain Sciences, 1, 100

Asatryan, D.G. & Fel'dman, A.G. (1965). Functional Tuning of the Nervous System with Control of Movement or Maintenance of a Steady Posture - I. Biophysics, 10, (S.925-935)

Bedi, J.F. & Cooper, J.M. (1977). Take off in the Long Jump.- Angular Momentum Considerations. Journal of Biomechanics, 10, 541-548

Bernstein, N.A. (1975). Bewegungsphysiologie, Leipzig : Barth

Blacharski, P.A. & Somerset, J.H. & Murray, D.G. (1975). A Three-Dimensional Study of the Kinematics of the Human Knee. Journal of Biomechanics, 8 375-384

Colby, K.M. (1980). From computational metaphor to consensual algorithms. The Behavioural and Brain Sciences, 3, 134-135

Conti, P. & Beaubaton, D. (1976). Utilisation des informations visuelles dans le contrôle du mouvement: étude de la précision des pointages chez l'homme. Le Travail humain, 1 19-32

Dreyfus, H.L. (1981). From Micro-Worlds to Knowledge Representation. In J. Haugeland (Hrsg.), Mind Design (S.162-204). Montgomery : Bradford

Ebbesen, E.B. & Parker, S. & Konečni, V.J. (1977). Laboratory and Field Analyses of Decisions Involving Risk. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 3, 576-589

Garske, R. (1985). Movement Notation. Ballett International, 2, 12-16

Goodman, D. & Kelso, J.A.S. (1980). Are Movements Prepared in Parts? Not Under Compatible (Naturalized) Conditions. Journal of Experimental Psychology: General, 109, 477-495

Haber, R.N. & Hershenson, M. (1980). The Psychology of Visual Perception. (2. Aufl.). New York : Holt, Rinehart and Winston.

Haken, H. (1982). Synergetik, Berlin : Springer

Haken, H. & Kelso, J.A.S. & Bunz, H. (1985). A Theoretical Model of Phase Transitions in Human Hand Movements. Biological Cybernetics, 51/2, 347-356

Hay, L. & Brouchon-Viton, M. & Rabattu, M. (1976). L'ajustement visuo-moteur chez l'homme. Le Travail humain, 53-62

Hofsten, C.v. & Lee, D. (1985). Dialogue on Perception and Action. In W.H.Warren jr. & R.E.Shaw (Hrsg.), Persistence and Change (S.231-242). Erlbaum : London

Johansson, G. (1985). About Visual Event Perception. In W.H.Warren jr. & R.E.Shaw (Hrsg.), Persistence and Change (S.29-54). Erlbaum : London

Johansson, G. (1973). Visual Perception of Biological Motion and a Model for its Analysis. Perception and Psychophysics, 14, 201-211

Johansson, G. (1975). Visual Motion Perception. Scientific American, 232(6), 76-89

Keil, F. (1980). Reductionism and cognitive flexibility. The Behavioural and Brain Sciences, 3, 141-142

Kelso, J.A.S. (1977). Motor Control Mechanisms Underlying Human Movement Reproduction. Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance, 5, 529-543

Kelso, J.A.S. & Holt, K.G. & Rubin, P. & Kugler, P.N. (1981). Patterns of Human Interlimb Coordination Emerge from the Properties of Non-Linear, Limit Cycle Oscillatory Processes: Theory and Data. Journal of Motor Behaviour, 13, 226-261

Kelso, J.A.S. & Putnam, C.A. & Goodman, D. (1983). On the Space-Time Structure of Human Interlimb Co-Ordination. Quarterly Journal of Experimental Psychology, 35A, 347-375

Lappin, J.S. (1985). Reflections on Gunnar Johansson's Perspective On the Visual Measurement of Space and Time. In W.H.Warren jr. & R.E.Shaw (Hrsg.), Persistence and Change (S.67-86). Erlbaum : London

Lenat, D.B. (1978). On Astrophysics and Superhuman Performance. The Behavioural and Brain Sciences, 1, 109-110

Marr, D. (1981). Artificial Intelligence : A Personal View. In J.Haugeland (Hrsg.), Mind Design (S.129-142). Montgomery : Bradford

McKenzie, J.A. & Williams, J.F. (1971). The Dynamic Behaviour of the Head and Cervical Spine During "Whiplash". Journal of Biomechanics, 4, 477-490

Morris, J.R.W. (1973). Accelerometry - a Technique for the Measurement of Human Body Movements. Journal of Biomechanics, 6, 729-736

Neumann, O. (198?). Informationsverarbeitung, künstliche Intelligenz und die Perspektiven der Kognitionspsychologie in O.Neumann (Hrsg.), Perspektiven der Kognitionspsychologie. Berlin : Springer (im Druck)

Norman, D.A. (1980). Twelve Issues for Cognitive Science. Cognitive Science, 4, 1-32

Oerter, R. (1967). Moderne Entwicklungspsychologie. Donauwörth : Auer

Onyshko, S. & Winter, D.A. (1980). A Mathematical Model for the Dynamics of Human Locomotion. Journal of Biomechanics, 13, 361-368

Orne, D. & Liu, Y.K. (1971). A Mathematical Model of Spinal Response to Impact. Journal of Biomechanics, 4, 49-71

Prigogine, I. (1981). Time, Irreversibility and Randomness. In E. Jantsch (Hrsg.) "The Evolutionary Vision". Westview : Boulder

Pylyshyn, Z.W. (1978a). Computational Models and Empirical Constraints. The Behavioural and Brain Sciences, 1, 93-99

Pylyshyn, Z.W. (1978b). The A.I. Debate: Generality, Goals and Methodological Parochialism. The Behavioural and Brain Sciences, 1, 121-127

Pylyshyn, Z.W. (1980a). The "causal Power" of machines. The Behavioural and Brain Sciences, 3, 442-444

Pylyshyn, Z.W. (1980b). Computation and cognition : issues in the foundations of cognitive science. The Behavioural and Brain Sciences, 3, 111-132

Pylyshyn, Z.W. (1980c). Cognitive representation and the process-architecture distinction. The Behavioural and Brain Sciences, 3, 154-169

Pylyshyn, Z.E. (1981). Complexity and the Study of Artificial and Human Intelligence. In J. Haugeland (Hrsg.), Mind Design (S.67-94). Montgomery : Bradford

Rosenbaum, D.A. (1980). Human Movement Initiation: Specification of Arm, Direction and Extent. Journal of Experimental Psychology : General, 109, 444-474

Runeson, S. (1974). Constant Velocity - Not Perceived As Such. Psychological Research, 37, 3-23

Runeson, S. (1975). Visual Prediction of Collision With Natural and Unnatural Motion Functions. Perception and Psychophysics, 18, 261-266

Ryman, R. & Singh, B. & Beatty, J.C. & Booth, K.S. (1984).
A Computerized Editor of Benesh Movement Notation.
Dance Research Journal, 16, 27-34

Schank, R.C. (1980). Understanding Searle. The Behavioural and Brain Sciences, 3, 446-447

Schmidt, R.A. (1980). Past and Future Issues in Motor Programming. Research Quarterly for Exercise and Sport, 51, 122-140

Searle, J.R. (1980). Minds, brains and programs. The Behavioural and Brain Sciences, 3, 417-426

Shoup, T.E. & Fletcher, L.S. & Merrill, B.B. (1974). Biomechanics of Crutch Locomotion. Journal of Biomechanics, 7, 11-19

Simon, H.A. (1980). Cognitive Science: The Newest Science of the Artificial. Cognitive Science, 4, 33-46

Taylor, K.D. & Mottier, F. & Simmons, D.W. & Cohen, W. & Pavlak jr., R. & Cornell, D.P. & Hankins, G.B. (1982). An Automated Motion Measurement System for Clinical Gait Analysis. Journal of Biomechanics, 15, 505-516

Walter, W. (1972). Gewöhnliche Differentialgleichungen
Berlin : Springer

Warren, W.H. jr. & Kelso, J.A.S. (1985). Work Group on Perception and Action. In W.H. Warren jr. & R.E. Shaw (Hrsg.), Persistence and Change (S.269-281). Erlbaum : London

Waters, R.L. & Morris, J. & Perry, J. (1973). Translational Motion of the Head and Trunk During Normal Walking. Journal of Biomechanics, 6, 167-172

Winfree, A.T. (1980). The Geometry of Biological Time
New York : Springer

Winter, D.A. & Quanbury, A.O. & Hobson, D.A. & Sidwall, H.G. & Reimer, G. & Trenholm, B.G. & Steinke, T. & Schlosser, H. (1974). Kinematics of Normal Locomotion - A Statistical Study Based on T.V.-Data. Journal of Biomechanics, 7, 479-486

ANHANG 1 :

=====

Bewegungsdaten in Auszügen

In diesem Kapitel werden die für die Entwicklung des "intelligenten Systems" LASA II (siehe 1.4.4.) fundamentalen D5 - Daten in der unter 1.3.1. eingeführten Schreibweise angegeben, sowie Sequenz 10 auf D2, um eine Visualisierung des unter 2.2. beschriebenen Versuchs zu ermöglichen.

Ein horizontaler Strich bedeutet hierbei, daß das Herausziehen der streifenförmig angeordneten Sequenz aus dem nicht einsehbaren Behälter zu unterbrechen war und die Nachfolgematrix der letzten sichtbaren Matrix vorhergesagt werden sollte.

ANHANG 1.1. :

=====

Sequenz 10 auf D2

0 0 0 0 0 0 0 0	seq. 10	nr. 1
0 0 0 0 0 0 0 0		
0 0 0 0 0 2 0 0		
0 0 0 0 1 1 0 0		
0 0 0 0 1 1 0 0		
0 0 0 0 0 0 0 0		

0 0 0 0 0 0 0 0	seq. 10	nr. 2
0 0 0 0 0 0 0 0		
0 0 0 0 0 2 0 0		
0 0 0 0 1 1 0 0		
0 0 0 0 1 1 0 0		
0 0 0 0 0 0 0 0		

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 2 1 0 0
0 0 0 0 1 1 0 0
0 0 0 0 1 1 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 3

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 2 1 0 0
0 0 0 0 1 1 0 0
0 0 0 0 1 1 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 4

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 2 1 0 0
0 0 0 0 1 1 0 0
0 0 0 0 1 1 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 5

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 2 1 0 0
0 0 0 0 1 1 0 0
0 0 0 0 1 1 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 6

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 2 0 0 0
0 0 0 0 1 1 0 0
0 0 0 0 1 1 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 7

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 2 0 0 0
0 0 0 0 1 1 0 0
0 0 0 0 1 1 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 8

0 0 0 0 0 0 0 0
 0 0 0 0 0 0 0 0
 0 0 0 0 2 0 0 0
 0 0 0 0 1 0 0 0
 0 0 0 0 1 1 0 0
 0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 9

0 0 0 0 0 0 0 0
 0 0 0 0 0 0 0 0
 0 0 0 0 2 0 0 0
 0 0 0 0 1 0 0 0
 0 0 0 0 1 0 0 0
 0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 10

0 0 0 0 0 0 0 0
 0 0 0 0 0 0 0 0
 0 0 0 0 2 0 0 0
 0 0 0 0 1 0 0 0
 0 0 0 0 1 0 0 0
 0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 11

0 0 0 0 0 0 0 0
 0 0 0 0 0 0 0 0
 0 0 0 0 2 0 0 0
 0 0 0 0 1 0 0 0
 0 0 0 1 1 0 0 0
 0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 12

0 0 0 0 0 0 0 0
 0 0 0 0 0 0 0 0
 0 0 0 0 2 0 0 0
 0 0 0 1 1 0 0 0
 0 0 0 1 1 0 0 0
 0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 13

0 0 0 0 0 0 0 0
 0 0 0 0 0 0 0 0
 0 0 0 2 1 0 0 0
 0 0 0 1 1 0 0 0
 0 0 0 1 1 0 0 0
 0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 14

```

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 2 1 0 0 0
0 0 0 1 1 0 0 0
0 0 0 1 1 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

```

seq. 10

nr. 15

```

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 2 1 0 0 0
0 0 0 1 1 0 0 0
0 0 0 1 1 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

```

seq. 10

nr. 16

```

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 2 1 0 0 0
0 0 0 1 1 0 0 0
0 0 0 1 1 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

```

seq. 10

nr. 17

```

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 2 1 0 0 0
0 0 0 1 1 0 0 0
0 0 0 1 1 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

```

seq. 10

nr. 18

```

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 2 1 0 0 0
0 0 0 1 1 0 0 0
0 0 0 1 1 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

```

seq. 10

nr. 19

```

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 2 0 0 0 0
0 0 0 1 1 0 0 0
0 0 0 1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

```

seq. 10

nr. 20

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 2 0 0 0 0
0 0 0 1 1 0 0 0
0 0 0 1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 21

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 2 0 0 0 0
0 0 0 1 0 0 0 0
0 0 0 1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 22

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 2 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 23

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 2 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 24

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 2 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 25

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 2 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 26

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 1 2 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 27

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 1 2 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 28

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 1 2 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 29

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 1 2 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 30

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 1 2 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 31

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 1 2 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 32

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 1 2 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 33

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 1 2 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 34

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 1 2 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 35

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 1 2 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 36

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 1 2 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 37

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 2 1 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 38

0 0 0 0 C 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
C 0 2 1 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 39

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 2 1 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 40

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 1 2 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 41

0 0 0 0 0 0 C 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 1 2 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 42

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 1 2 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 43

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 1 2 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 44

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 1 2 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 45

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 1 2 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 46

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 1 2 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 47

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 1 2 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 48

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 1 2 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 49

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 2 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 50

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 2 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 51

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 2 0 0 0 0
0 0 0 1 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 52

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 2 0 0 0 0
0 0 0 1 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 53

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 2 0 0 0 0
0 0 0 1 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 54

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 2 0 0 0 0
0 0 0 1 0 0 0 0
0 0 0 1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 55

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 2 0 0 0 0
0 0 0 1 0 0 0 0
0 0 0 1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 56

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 1 2 0 0 0
0 0 0 1 0 0 0 0
0 0 0 1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 57

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 1 2 0 0 0
0 0 0 1 1 0 0 0
0 0 0 1 1 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 58

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 1 2 0 0 0
0 0 0 1 1 0 0 0
0 0 0 1 1 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 59

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 1 2 0 0 0
0 0 0 1 1 0 0 0
0 0 0 1 1 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 60

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 1 2 0 0 0
0 0 0 1 1 0 0 0
0 0 0 1 1 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 61

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 1 2 0 0 0
0 0 0 1 1 0 0 0
0 0 0 1 1 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 62

0 0 0 0 0 0 0 0
 0 0 0 0 0 0 0 0
 0 0 0 0 2 0 0 0
 0 0 0 1 1 0 0 0
 0 0 0 1 1 0 0 0
 0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 63

0 0 0 0 0 0 0 0
 0 0 0 0 0 0 0 0
 0 0 0 0 2 0 0 0
 0 0 0 1 1 0 0 0
 0 0 0 1 1 0 0 0
 0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 64

0 0 0 0 0 0 0 0
 0 0 0 0 0 0 0 0
 0 0 0 0 2 0 0 0
 0 0 0 0 1 0 0 0
 0 0 0 1 1 0 0 0
 0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 65

0 0 0 0 0 0 0 0
 0 0 0 0 0 0 0 0
 0 0 0 0 2 0 0 0
 0 0 0 0 1 0 0 0
 0 0 0 0 1 0 0 0
 0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 66

0 0 0 0 0 0 0 0
 0 0 0 0 0 0 0 0
 0 0 0 0 2 0 0 0
 0 0 0 0 1 0 0 0
 0 0 0 0 1 0 0 0
 0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 67

0 0 0 0 0 0 0 0
 0 0 0 0 0 0 0 0
 0 0 0 0 2 1 0 0
 0 0 0 0 1 1 0 0
 0 0 0 0 1 1 0 0
 0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 68

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 1 2 0 0
0 0 0 0 1 1 0 0
0 0 0 0 1 1 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 69

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 1 2 0 0
0 0 0 0 1 1 0 0
0 0 0 0 1 1 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 70

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 1 2 0 0
0 0 0 0 1 1 0 0
0 0 0 0 1 1 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 71

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 1 2 0 0
0 0 0 0 1 1 0 0
0 0 0 0 1 1 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 72

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 2 0 0
0 0 0 0 1 1 0 0
0 0 0 0 1 1 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 73

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 2 0 0
0 0 0 0 1 1 0 0
0 0 0 0 1 1 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 74

0 0 0 0 0 0 0 0
 0 0 0 0 0 0 0 0
 0 0 0 0 0 2 0 0
 0 0 0 0 0 1 0 0
 0 0 0 0 1 1 0 0
 0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 75

0 0 0 0 0 0 0 0
 0 0 0 0 0 0 0 0
 0 0 0 0 0 2 0 0
 0 0 0 0 0 1 0 0
 0 0 0 0 0 1 0 0
 0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 76

0 0 0 0 0 0 0 0
 0 0 0 0 0 0 0 0
 0 0 0 0 0 2 0 0
 0 0 0 0 0 1 0 0
 0 0 0 0 0 1 0 0
 0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 77

0 0 0 0 0 0 0 0
 0 0 0 0 0 0 0 0
 0 0 0 0 0 2 0 0
 0 0 0 0 0 1 0 0
 0 0 0 0 0 1 0 0
 0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 78

0 0 0 0 0 0 0 0
 0 0 0 0 0 0 0 0
 0 0 0 0 0 2 0 0
 0 0 0 0 0 1 1 0
 0 0 0 0 0 1 1 0
 0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 79

0 0 0 0 0 0 0 0
 0 0 0 0 0 0 0 0
 0 0 0 0 0 1 2 0
 0 0 0 0 0 1 1 0
 0 0 0 0 0 1 1 0
 0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 80

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 1 2 0
0 0 0 0 0 1 1 0
0 0 0 0 0 1 1 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 81

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 1 2 0
0 0 0 0 0 1 1 0
0 0 0 0 0 1 1 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 82

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 1 2 0
0 0 0 0 0 1 1 0
0 0 0 0 0 1 1 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 83

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 1 2 0
0 0 0 0 0 1 1 0
0 0 0 0 0 1 1 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 84

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 1 2 0
0 0 0 0 0 1 1 0
0 0 0 0 0 1 1 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 85

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 1 2 0
0 0 0 0 0 1 1 0
0 0 0 0 0 1 1 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 86

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 2 0
0 0 0 0 0 1 1 0
0 0 0 0 0 1 1 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 87

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 2 0
0 0 0 0 0 1 1 0
0 0 0 0 0 1 1 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 88

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 2 0
0 0 0 0 0 1 1 0
0 0 0 0 0 1 1 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 89

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 2 0
0 0 0 0 0 0 1 0
0 0 0 0 0 1 1 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 90

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 2 0
0 0 0 0 0 0 1 0
0 0 0 0 0 0 1 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 91

0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 2 0
0 0 0 0 0 0 1 0
0 0 0 0 0 0 1 0
0 0 0 0 0 0 0 0

seq. 10

nr. 92

0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	2	0
0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0

seq. 10

nr. 93

A. 1.2. D5

Sequenz 1

320	220	130	120	320	330
130	120	220	320	321	311
211	321	311	111	112	222
322	311	312	112	222	322
311	111	210	310	320	120
110	220	320			

Sequenz 2

220	320	120	110	220	320
120	110	210	310	320	311
111	110	221	211	311	411
211	111	211	311	421	521
522	422	322	222	311	321
320	110	210	310	320	120
110	210	220	320	120	210

Sequenz 3

320	220	120	110	210	220
320	130	120	220	320	321
311	321	311	312	322	222
333	322	332	121	221	320
120	110	310	320		

Sequenz 4

230	130	330	320	310	120
220	320	310	220	120	220
320	321	311	322	222	111
123	213	322	311	111	210
310	320	220	120	110	320

Sequenz 5

120	220	320	120	110	210
220	320	210	220	120	122
112	321	322	421	411	111
211	111	211	111	211	111
211	111				

Sequenz 6

220	320	220	210	110	120
220	320	310	311	111	

Sequenz 7

110	120	220	320	310	210
110	220	320	321	221	211
111	110	111	211	221	410
510	610	600	510	410	420
400					

Sequenz 8

220	320	220	120	110	120
220	320	321	221	321	221
311	420	230	410	310	410
510	321	221			

Sequenz 9

230	130	230	320	310	220
320	530	430	340	430	420
320	220	320	220	130	120
320	120	130	120	220	320
220	120	110			

Sequenz 10

220	320	220	120	110	120
220	320	210	110	220	320
500	320	220	120	110	210
320	220	120	110	320	220
120	110	220	320	220	120

Sequenz 11

110	210	310	320	321	311
321	311	211	111	112	122
222	322	222	221	211	321
322					

Sequenz 12

321	320	120	110	310	320
220	120	110	310	320	220
120	110	210	220	320	120

ANHANG 2 :

=====

PASCAL - Programm für eine Reihe von
LASA - Varianten

Das folgende PASCAL - Programm wurde auf der IBM 4361 des Max-Planck-Instituts für Psychologische Forschung in München erfolgreich angewendet. Anspruch auf programmierungstechnische Perfektion wird nicht erhoben. Die verschiedenen LASA - Varianten können durch Versetzen der Kommentarklammern im Hauptprogramm erhalten werden; "testa" und "decode" sind Prüfprozeduren, die Files als Matrix - bzw. Quadrupelfolgen ausdrucken.

Der unter 1.4.3. beschriebene LASA I - Algorithmus zeichnet sich durch leichte Zugänglichkeit und einfache Darstellung aus, die hier vorzustellende Generalisierung weist jedoch etliche programmierungstechnische Vorteile auf und liefert unter anderem sämtliche in der vorliegenden Arbeit verwendeten Resultate.

```
program de5(input,output,aus);
```

```
type bel=0..2;
matrix = array(.1..6.1..9.) of bel;
vector=array(.1..120.) of matrix;
knoten= record s:integer
           i:integer
           ;
           n:integer
           ;
           m:integer
           ;
           i:matrix
end;
tapir=file of knoten;

var aus , fl: tapir;
hl,h2,n3,n4,laenge,s1,s2,sc1,sc2 : integer;
null,mat: matrix;
vh:vector;
second:boolean;
op:knoten;
```

```
procedure test3(var ff:tapir);      (* Ausdrucken von Files *)
var t1,t2:integer;
kk:knoten;
begin reset(ff,'lrecl=763,blksize=772,recfm=v');
while not eof(ff) do begin
  read(ff,kk);if kk.q=12 then begin
    for t1:=1 to 6 do begin
      for t2:=1 to 9 do begin
        if kk.i(.t1,t2.)=0 then write(' ');
        if kk.i(.t1,t2.)=1 then write(' ');
        if kk.i(.t1,t2.)=2 then write(' *');      end;
        if t1=1 then write(kk.s:7,kk.q:7,kk.n:4,kk.m:4);
      writeln; end;
    for t1:=1 to 3 do begin
      writeln; end;end;
  end;
end;
```

```
procedure copy(var fu,fff:tapir);   (* Kopieren von Files *)
var akk: knoten;
begin reset(fu,'lrecl=759,blksize=772,recfm=v');
rewrite(fff,'lrecl=758,blksize=772,recfm=v');
while not eof(fu) do begin
  read(fu,akk); write(fff,akk); end;
end;
```

```

procedure subcon(var ff:tapii);          (* subjekt kondensieren *)
                                         (* siehe 1.2.2. *)
var as1,as2,su,sr: integer;
gg: tapii;
kk:knoten;

begin reset(ff,'lrecl=763,blksize=772,recfn=v');
rewrite(gg,'lrecl=768,blksize=772,recfn=v');
while not eof(ff) do begin
  read(ff,kk);
  su:=0;sr:=0;
  for as1:=1 to 8 do begin
    for as2:=1 to 8 do begin
      if kk.i(.as1,as2.)=2 then
        begin su:=as1; sr:=as2; end;      end;en1;
      if (((su<>0) and (su<>3)) or ((sr<>5) and (sr<>0)))
        then begin
          while su>3 do begin
            for as2:=1 to 8 do begin
              for as1:=1 to 5 do begin
                kk.i(.as1,as2.):=kk.i(.as1+1,as2.);  end;
                kk.i(.6,as2.):=0; end;
              su:=su-1;
            end;
          while su<3 do begin
            for as2:=1 to 8 do begin
              for as1:=6 downto 2 do begin
                kk.i(.as1,as2.):=kk.i(.as1-1,as2.);  end;
                kk.i(.1,as2.):=0;  end;
              su:=su+1;
            end;
          while sr<5 do begin
            for as1:=1 to 6 do begin
              for as2:=8 downto 2 do begin
                kk.i(.as1,as2.):=kk.i(.as1,(as2-1).); end;
                kk.i(.as1,1.):=0;  end;
              sr:=sr+1;
            end;
          while sr>5 do begin
            for as1:=1 to 6 do begin
              for as2:=1 to 7 do begin
                kk.i(.as1,as2.):=kk.i(.as1,(as2+1).); end;
                kk.i(.as1,8.):=0; end;
              sr:=sr-1;
            end;
          end;
          write(yg,kk);      end;
        reset(gg,'lrecl=768,blksize=772,recfn=v');
        rewrite(ff,'lrecl=768,blksize=772,recfn=v');
        while not eof(gg) do begin
          read(gg,kk);      write(ff,kk);
        end;
      end;
    end;
  end;
end;

```

```
procedure neucon(function ex(exa,exb:integer):integer;var ff:tapir);
```

(« Rechts-Links-Kondensieren, siehe 1.2.2. »)

```
var hc,hd : integer;
yg: tapir;
kk : knoten;
chi : array(.1..8.) of integer;
zwei : boolean;

begin reset(ff,'lrec1=763,blksize=772,recfn=v');
rewrite(gg,'lrec1=768,blksize=772,recfn=v');
while not eof(ff) do begin
  read(ff,kk);
  zwei:=false;
  for hd:=1 to 8 do begin
    for hc:=1 to 6 do begin
      if kk.i(.hc,hd.)=2 then zwei:=true end; end;

  if zwei then begin

    for hd:=1 to 8 do begin
      chi(.hd.):=0;
      for hc:=1 to 6 do begin
        if kk.i(.hc,hd.)=2 then
          chi(.hd.):=chi(.hd.)*10           else
          chi(.hd.):=cni(.hd.) + kk.i(.hc,hd.);      end;end;

      while chi(.1.)=0 do begin
        for hc:=1 to 7 do begin
          chi(.hc.):=cni(.hc+1.);end;
          chi(.8.):=0;      end;

        for hc:=1 to 4 do begin
          chi(.9-hc.):=cni(.hc.) end;

        for hc:=1 to 3 do begin
          for hd:=1 to 6 do begin
            if odd(cni(.hc.) div ex(2,hd-1)) then begin
              chi(.hc.):=cni(.hc.)-ex(2,hd-1);
              kk.i(.hd,hc.):=1 end      else
              kk.i(.hd,hc.):=0      end;end;

        end;

      write(gg,kk);      end;
      reset(gg,'lrec1=768,blksize=772,recfn=v');
      rewrite(ff,'lrec1=768,blksize=772,recfn=v');
      while not eof(yg) do begin
        read(gg,kk); write(ff,kk);      end;
      end;
```

```
procedure eucon(function ex(exa,exb:integer):integer;  
var ff :tapi;);
```

(* Vorwärts-Rückwärts-Kondensieren, siehe 1.2.2. *)

```
var ia,ib,ie,ig,ih :integer;  
gg: tapi;  
kk: knoten;  
xi: array(1..8.) of integer;  
zwei: boolean;  
  
begin reset(ff,'lrecl=768,blksize=772,recfn=v');  
rewrite(gg,'lrecl=768,blksize=772,recfn=v');  
while not eof(ff) do begin  
  read(ff,kk);  
  zwei:=false;  
  for ia:=1 to 6 do begin  
    for ib:=1 to 8 do begin  
      if kk.i(ia,ib.)=2 then zwei:=true;end;end;  
  
  if zwei then begin  
  
    for ie:=1 to 6 do begin  
      for ig:=1 to 8 do begin  
        if kk.i(ie,ig.)=2 then begin  
          ia:=ie; ib:=ig end; end; end;  
  
        for ih:=1 to 4 do begin  
          xi(.ih.):=0;  
          for ie:=1 to 6 do begin  
  
            for ig:=1 to 8 do begin  
              if ((abs(ie-ia)<=(ih-1)) and (abs(ig-ib)<=(ih-1))) then  
                xi(.ih.):=xi(.ih.)*kk.i(ie,ig.); end; end; end;  
  
            for ih:=1 to 4 do begin  
              xi(.9-ih.):=xi(.ih.) end;  
  
            for ie:=1 to 6 do begin  
              for ig:=1 to 6 do begin  
                if odd(xi(.ie.) div ex(2,ig-1)) then begin  
                  xi(.ie.):=xi(.ie.) - ex(2,ig-1);  
                  kk.i(.ig,ie.):=1 end  
                else kk.i(.ig,ie.):=0;  
              end;end;  
  
            end;  
  
          write(yg,kk); end;  
  
          reset(gg,'lrecl=769,blksize=772,recfn=v');  
          rewrite(ff,'lrecl=768,blksize=772,recfn=v');  
          while not eof(yg) do begin  
            read(gg,kk); write(ff,kk); end;  
  
          end;  
  
end;
```

```

procedure timecon(var fu:tapii);
(* zeitliches Kondensieren , siehe 1.2.2. *)

var j1,j2,zanl,seqnr,knnr: integer;
ku:knoten;
fff: tapii;
xx : matrix;

begin for j1:=1 to 6 do begin
for j2:=1 to 8 do begin
if j1=j2 then xx(.j1,j2.):=1
else xx(.j1,j2.):=0 end;end;

reset(fu,'lrecl=768,blksize=772,recfm=v');
rewrite(fff,'lrecl=768,blksize=772,recfm=v');
while not eof(fu) do begin
read(fu,ku); zabl:=0;
for j1:=1 to 6 do begin
for j2:=1 to 8 do begin
if ku.i(.j1,j2.)=xx(.j1,j2.) then zabl:=zanl+1; end;end;

while ((zabl=48) and not eof(fu)) do begin
read(fu,ku); zabl:=0;
for j1:=1 to 6 do begin
for j2:=1 to 8 do begin

if ku.i(.j1,j2.)=xx(.j1,j2.) then zabl:=zanl+1; end;end;

end;
if zabl<>43 then write(fff,ku);

xx:=ku.i; end;

reset(fff,'lrecl=768,blksize=772,recfm=v');
rewrite(fu,'lrecl=768,blksize=772,recfm=v');
seqnr:=0; knnr:=1;
while not eof(fff) do begin
read(fff,ku);
if ku.s=seqnr then knnr:=knnr+1
else knnr:=1;
ku.n:=knnr; seqnr:=ku.s;
write(fu,ku);
end;
end;

```

```
function delta(xp,xq:matrix): integer;
(* liefert die Anzahl der in den zwei Eingangsmatrizen *)
(* unterschiedlich besetzten Felder *)
```

```
var del,de2,de3: integer;
```

```
begin del:=0;
for del:=1 to 5 do begin
for de2:=1 to 5 do begin
if xp(.del,de2.)<>xq(.del,de2.) then
de3:=de3+1; end;end;
delta:=de3;
end;
```

```
procedure col(procedure copy(var fc,f1:tapi);
function delta(xxc,xxd:matrix):integer;
var ff:tapi;var vh:vector;var n4,n3:integer);
```

```
(* markiert die Knoten der Basissequenzen in Abhängigkeit *)
(* vom n4-ten Knoten der n3-ten Sequenz *)
```

```
var bas: vector;
cl,c2,c3,mn : integer;
wei: boolean;
gu : tapi;
kk: knoten;
```

```
begin for cl:=1 to 120 do begin
for c2:=1 to 6 do begin
for c3:=1 to 8 do begin
```

```
bas(.cl.)(.c2,c3.):=0;
end;      end;      end;
```

```
copy(ff,gu);
reset(gu,'lrec1=768,blksize=772,recfm=v');
rewrite(ff,'lrec1=768,blksize=772,recfm=v');
while not eof(gu) do begin
read(gu,kk);      kk.n:=0;
if kk.q<n4 then write(ff,kk);      end;
```

```
reset(ff,'lrec1=768,blksize=772,recfm=v');
rewrite(gu,'lrec1=768,blksize=772,recfm=v');
while not eof(ff) do
begin read(ff,kk);
for cl:=1 to 117 do begin
bas(.cl.):=bas(.cl+1.) end;
bas(.120.):=kk.i;
```

```
wei:=true;
cl:=0;
mm:=0;
c2:=h3;
```

```
while ((c2>0) and wei) do begin
if delta(vh(.c2.),bas(.120-cl.))=0 then
begin c2:=c2-1;
mm:=mm+1;
cl:=cl+1;      end else
wei:=false;end;
```

```
kk.m:=mm;
write(gu,kk);      end;
```

```
copy(gu,ff);
```

```
end;      (* end col *)
```

```
procedure prob(procedure copy(var fs,fd:tapi);
function delta(xyx,xyy:matrix):integer;
var ff:tapi; var mat:matrix;
var s1,s2:integer);
```

```
(* liefert ausgehend vom markierten File ff die Vorhersage *)
(* "mat" oder "no", wobei die Vorhersage von den am Ende *)
(* des Programms beschriebenen Parametern s1 und s2 abhängt *)
```

```
const inf=1;
```

```
var gg,hh,jj:tapi;
sets: set of 1..12;
kk,kq,knull :knoten;
p1,p2,length: integer;
w,h,wie: boolean;
```

```

begin reset(ff,'lrecl=768,blksize=772,recfm=v');
      rewrite(gg,'lrecl=768,blksize=772,recfm=v');

for p1:=1 to 6 do begin
for p2:=1 to 8 do begin
mat(.p1,p2):=0; end;end;

kk.i:=mat; kk.s:=0;kk.q:=0;kk.n:=0;kk.m:=0;
knull:=kk;

write(gg,kk);wwn:=false;

while not eof(ff) do begin
read(ff,kk);wwn:=false;
if kk.m>=s1 then begin read(ff,kq);
if delta(kq.i,knull.i)=0 then kq.q:=0;
write(gg,kq);
wwn:=true;
kk:=kq; end;end;

      copy(gg,hh);
reset(gg,'lrecl=768,blksize=772,recfm=v');
rewrite(jj,'lrecl=768,blksize=772,recfm=v');

while not eof(gg) do
begin read(gg,kq);

seta:=(.kq.q.);
pl:=1;
reset(hh,'lrecl=768,blksize=772,recfm=v');

while not eof(hh) do
begin read(hh,kk);

if ((delta(kk.i,kq.i)=0) and not(seta=seta*(.kk.i.))) then
begin seta:=seta*(.kk.q.);
pl:=pl+1; end;
end;

kq.m:=pl;
write(jj,kq);
end;

reset(jj,'lrecl=768,blksize=772,recfm=v');
rewrite(hh,'lrecl=768,blksize=772,recfm=v');write(hh,knull);
while not eof(jj) do
begin read(jj,kk);
copy(hh,gg);
wie:=false;
reset(gg,'lrecl=768,blksize=772,recfm=v');
while not eof(gg) do begin
read(gg,kq);

```

```

if ((delta(kq,i,kk,i)=0) and (kk,q=kq,i)) then wie:=true;
end;
if wie=false then begin
reset(gg,'lrecl=768,blksize=772,recfm=v');
rewrite(hh,'lrecl=768,blksize=772,recfm=v');
while not eof(gg) do begin
read(gg,kq); write(hh,kq); end;
write(hh,kk); end;
end;

```

```

copy(hh,jj);
reset(jj,'lrecl=768,blksize=772,recfm=v');
length:=0;
while not eof(jj) do begin
read(jj,kk);
length:=length+1 end;
if (length-1)>inf then begin
reset(jj,'lrecl=768,blksize=772,recfm=v');
while not eof(jj) do begin
read(jj,kk);
if kk.m>null.m then null:=kk;
end;

```

```

if (((null.m)/(length-1))>=(2/5)) then mat:=null.i;
end;
end;

```

```

procedure asp(procedure copy(var ffx,ggx:tapi);var ff:tapi);

```

```

(* Spiegeln jeder Matrix eines Files und Verlängern des *)
(* ungespiegelten Files um den gespiegelten *)

```

```

var gg,hn:tapi;
kk,kq:knoten;
spl,sp2:integer;

```

```

begin reset(ff,'lrecl=768,blksize=772,recfm=v');
rewrite(gg,'lrecl=768,blksize=772,recfm=v');
while not eof(ff) do begin
read(ff,kk);
kq:=kk;
for spl:=1 to 6 do begin
for sp2:=1 to 8 do begin
kk.i(.spl,sp2.):=kq.i(.spl,(9-sp2).) end;end;
kk.s:=kq.s+12; write(gg,kk); end;

```

```

reset(ff,'lrecl=768,blksize=772,recfm=v');
rewrite(hh,'lrecl=768,blksize=772,recfm=v');
reset(gg,'lrecl=768,blksize=772,recfm=v');
while not eof(ff) do begin
read(ff,kk); write(hh,kk); end;

```

```
while not eof(yg) do begin
read(jg,kk); write(hh,kk); end;
copy(hh,ff);
end;
```

```
procedure dis(var xx:matrix);
```

```
(* setzt unzusammenhängende Matrizen auf Null , was der *)
(* Nachricht "vorläufiges Sequenzende" entspricht *)
```

```
var di,dj,dk,dl, neigh: integer;
zwei: boolean;
```

```
procedure null(var yy: matrix);
var yy1,yy2:integer;
begin for yy1:=1 to 6 do begin
for yy2:=1 to 8 do begin
yy[.yy1,yy2]:=0 end;end;
end;
```

```
function sick(xd:matrix):integer;
var ck,ch,ci : integer;
begin
ck:=0;
for ch:=1 to 6 do begin
for ci:=1 to 8 do begin
ck:=ck+xd[.ch,ci.];
end;end;sick:=ck;
end;
```

```
begin zwei:=false;
dk:=0;
for di:=1 to 6 do begin
for dj:=1 to 8 do begin
if xx[.di,dj.]=2 then zwei:=true;
if xx[.di,dj.]>0 then dk:=dk+1; end;end;
end;end;
```

```
if sick(xx)>0 then begin
if sick(xx)=1 then null(xx)
else begin
if not zwei then null(xx)
else begin
for di:=1 to 6 do begin
for dj:=1 to 8 do begin
if ((xx[.di,dj.]=1) or (xx[.di,dj.]=2)) then
begin neigh:=0;
for dk:=1 to 6 do begin
for dl:=1 to 8 do begin
if(((abs(jk-di)=1) and (abs(dl-dj)=0)) or
((abs(dk-di)=0) and (abs(dl-dj)=1))) then
begin if xx[.dk,dl.]>0 then neigh:=neigh+1; end;
end;end;
end;end;
```

```
if neigh=0 then null(xx);
end;end;end;end;end;end;
end;
```

```

procedure fixb(procedure copy(var pp,qq:tapi);
procedure timecon(var ff:tapi); procedure diss(var zz:matrix);
                                var ff:tapi);

```

(* quasiboolesche Transformationen von Files, s. 1.5. *)

```

var fi,fj,adm : integer;
hh,gg:tapi;
kf:knoten;

begin
  reset(ff,'lrec1=763,blksize=772,recfn=v');
  rewrite(gg,'lrec1=763,blksize=772,recfn=v');
  while not eof(ff) do begin
    read(ff,kf); write(gg,kf);      end;

  for adm:=1 to 2 do begin
    for fi:=2 to 6 do begin
      for fj:=4 to 6 do begin
        if not ((fj=5) and ((fi=3) or (fi=4) or (fi=5))) then begin
          if not ((adm=1) and ((fi=2) or (fi=5))) then begin
            (* Einschränkungen aus Speicherplatzgründen *)

            reset(ff,'lrec1=76d,blksize=772,recfn=v');
            rewrite(hh,'lrec1=76d,blksize=772,recfn=v');
            while not eof(ff) do begin
              read(ff,kf);
              if ((adm=1) and (kf.i(.fi,fj.)=0)) then
                kf.i(.fi,fj.):=1;
              if ((adm=2) and (kf.i(.fi,fj.)<>0)) then
                kf.i(.fi,fj.):=0;
              diss(kf.i);
              if adm=1 then kf.s:=fi*1000+fj*100+kf.s
                else    kf.s:=fi*100000+fj*1000+kf.s;
              write(hh,kf);      end;

              timecon(hh);
            reset(hh,'lrec1=76d,blksize=772,recfn=v');
            while not eof(hh) do begin
              read(hh,kf);
              write(gg,kf);
            end;

            end;end;end;end;end;
            copy(gg,ff);
            end;

```

```
procedure decode(var ff:tapi);
```

```
(* Ausdruck von D4- und D5-Files als Folgen von Quadrupeln *)
(* zur Rekonstruktion der in 1.3.2. eingeführten Tripel- *)
(* Codifikate für Matrizen *)
```

```
var u: integer;
```

```
o: matrix;
```

```
kk: knoten;
```

```
vier: array(-1..4) of integer;
```

```
begin reset(ff,'lrecl=768,blksize=772,recfm=v');
```

```
while not eof(ff) do
```

```
begin read(ff,kk);
```

```
o:=kk.i;
```

```
for u:=1 to 4 do begin
```

```
vier(.u.):= o(-1,u.)+2*o(.2,u.)+4*o(.3,u.)+9*o(.4,u.)+16*o(.5,u.);
```

```
write(vier(.u.):3); end;
```

```
writeln(kk.s:9,kk.n:9); end;
```

```
end;
```

```
procedure sh(var ff:tapi);
```

```
(* Kürzen von Files in Abhängigkeit von Betrachteten Fall , *)
```

(# als Beispiel hier : Fall 1; siehe 1.2.2. #)

```
var gg:tapi;
```

```
var kk : knoten;
```

```
begin reset(ff,'lrecl=768,blksize=772,recfm=v');
```

```
rewrite(gg,'lrecl=768,blksize=772,recfm=v');
```

```
while not eof(ff) do begin
```

```
read(ff,kk);
```

```
if kk.s<=10 then write(gg,kk); end;
```

```
end;
```

```

function ez(k,l:integer):integer;          (* Exponentiation *)
var sa,sb:integer;
begin sb:=k;
if l<0 then sb:=0;
if l=0 then sb:=1;
if l>0 then begin
for sa:=1 to (l-1) do begin sb:=sb*k end;
end; ez:=sb;
end;

begin      (* HP *)

for h1:=1 to 6 do begin
for h2:=1 to 8 do begin
for h3:=1 to 120 do begin
vh(.h3,)(.h1,h2.):=0 end;
null(.h1,h2.):=0;
mat(.h1,h2.):=0;
end;
end;

copy(aus,f1);      sh(f1);          timecon(f1);
asp(copy,f1);      (* timecon(f1);*)
(*fixb(copy,timecon,dis,f1); *) (* timecon(f1);*)
(*abscon(f1);*)
subcon(f1);        timecon(f1);
fixb(copy,timecon,dis,f1);
(*neucon(ez,f1);*)
(*eucon(ez,f1);*)
timecon(f1);      (* testa(f1);*) (* decode(f1);*)

(* second:=true;*)      (* mit second kann die Ausführung des *)
                        (* des 2. Programtteils gesteuert werden *)
second:=false;         if second then begin

for h1:=1 to 6 do begin
for h2:=1 to 8 do begin
for h3:=1 to 120 do begin
vh(.h3,)(.h1,h2.):=0; end;
null(.h1,h2.):=0;
mat(.h1,h2.):=0;
end;
end;

h1:=10      (* allg.: seqnr. *)      ; n4:=h1;

reset(f1,'lrec1=768,blksize=772,recfm=v');

```

```

laenge:=0;
while not eof(f1) do begin
  read(f1.op);
  if op.s=h1 then begin
    vh(.(op.n).):=op.i;
    if delta(op.i,null)>0 then laenge:=laenge+1;
  end;
end;

read(h2);
writeln('          LASA II - Basis ',h1:3,', ',h2:3);
h3:=h2;

  col(copy,delta,f1,vh,h4,n3);

for sc2:=4 to 5 do begin  s2:=sc2;
for scl:=2 to 8 do begin  sl:=scl;    (* minimale Tiefe *)

  prob(copy,delta,f1,mat,sl,s2);

  if delta(mat,null)>0 then
    write(delta(mat,vh(.(h3+1).)):2)    else
    write('no');

  end;      writeln;      end;

      writeln;writeln;

                                  (* n2 *)
(* h1 *)
                                  end;(*second*)
end.

```

Anm.: via scl und sc2 läßt sich jeder gewünschte probabilistische LASA-Automat simulieren, für sc2=5 ergeben sich deterministische LASA-Automaten

Hiermit möchte ich meinen Eltern,
Herrn PD Dr. G. Strube
Herrn H. Küchenhoff, Frau A. Schoch und
Herrn K. Konkol
für ihre Anregungen und Ermutigungen danken,
sowie Herrn Prof. Dr. K. Müller

Oliver Thomas Holzner, Lebenslauf :

- 1958 Am 23. März in Berlin geboren
- 1964 - 1968 Besuch von Volksschulen in Hamburg
und Grafing b. München
- 1968 - 1977 Besuch des mathematisch - naturwis-
senschaftlichen Zweiges des Gymna-
siums Grafing
- 1977 Abitur, Stipendium der Bayerischen
Begabtenförderung
- 1977 - 1982 Studium der Psychologie an der LMU -
München, Spezialgebiet : Mathemati-
sche Psychologie
- 1979 - heute Studium der Mathematik an der LMU -
München, Spezialgebiet : Nichtklas-
sische Logik
- 1982 Diplom in Psychologie, Thema der
Diplomarbeit : " Einige nichtnumer-
ische mathematische Methoden in der
Psychologie "
- 1982 - 1986 Promotion in Psychologie bei Herrn
PD Dr. G. Strube am MPI für Psycho-
logische Forschung, Thema der Pro-
motionsarbeit : " Prädiktion mensch-
licher Körperbewegungen "

